

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

**PERENCANAAN ULANG STRUKTUR GEDUNG RUMAH
SAKIT IBU DAN ANAK DENGAN METODE SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM) DAN
METODE PELAKSANAAN ELEMEN KOLOM**

DEA ADLINA TIARA WIBOWO
NRP. 3114 030 012

ILHAM RIZKY DARMAWAN
NRP. 3114 030 083

DOSEN PEMBIMBING
Ir. BOEDI WIBOWO, CES.
NIP. 19530424 198203 1 002

**PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

**PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
GEDUNG RUMAH SAKIT IBU DAN ANAK
DENGAN METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)
DAN METODE PELAKSANAAN ELEMEN
KOLOM**

**DEA ADLINA TIARA WIBOWO
NRP. 3114 030 012**

**ILHAM RIZKY DARMAWAN
NRP. 3114 030 083**

**DOSEN PEMBIMBING
Ir. BOEDI WIBOWO, CES.
NIP. 19530424 198203 1 002**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar ahli madya teknik pada
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, Juli 2017

Disusun oleh:

MAHASISWA 1



MAHASISWA 2



DEA ADLINA TIARA

NRP. 3114 030 012

ILHAM RIZKY D.

NRP. 3114 030 083

Disetujui oleh:

DOSEN PEMBIMBING

21 JUL 2017



IR. BOEDI WIBOWO, CES.

NIP. 19530424 198203 1 002

21/7-2017



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
037713/IT2.VI.8.1/PP.06.00/2017

Tanggal : 10 Juli 2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Perencanaan Ulang Struktur Gedung Rumah Sakit Ibu dan Anak dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan Metode Pelaksanaan Elemen Kolom		
Nama Mahasiswa 1	Dea Adlina Tiara N.	NRP	3114030012
Nama Mahasiswa 2	Ilham Rizky Darmawan	NRP	3114030083
Dosen Pembimbing 1	Ir. Boedi Wibowo, CES NIP 19530424 198203 1 002	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	- NIP -	Tanda tangan	-

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	 Ir. Boedi Wibowo, CES NIP 19530424 198203 1 002
<p>- Panjang Overlap pada beton 7</p> <p>- Elevasi: lantai pada bentangan, tangga, teras, dan lain-lain</p> <p>- Luas area yang dibahas</p>	 Ir. Srie Subekti, MT NIP 19560520 198903 2 001
<p>- abstrak dan kesimpulan dilengkapi</p> <p>- tambahkan vol. beton pd. perhit. kebutuhan tulangan</p> <p>- cit. penggunaan SRPMM. (kepastiannya)</p>	 Afif Navir R, ST. MT NIP 19840919 201504 1 001
<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	<p>-</p> <p>NIP -</p>

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
			-
Ir. Boedi Wibowo, CES NIP 19530424 198203 1 002	Ir. Srie Subekti, MT NIP 19560520 198903 2 001	Afif Navir R, ST. MT NIP 19840919 201504 1 001	NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	 Ir. Boedi Wibowo, CES NIP 19530424 198203 1 002	- NIP -



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

PROGRAM STUDI DIPLOMA - JURUSAN TEKNIK SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Dea Adlina Tiara W. 2 Ilham Rizky D.
NRP : 1 3114 030 012 2 3114 030 083
Judul Tugas Akhir : Perencanaan ulang struktur gedung rumah sakit ibu dan anak dengan metode sistem rangka pemikul momen menengah (SRPM) dan metode pelaksanaan elemen kolom
Dosen Pembimbing : Ir. Boedi Wibowo, CES.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	16 Feb 2017	- Blower dihapus, denah struktur disamakan dengan lantai-lantai bawah		B	C	K
		- Void dihilangkan		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
2.	24 Feb 2017	- Hitung pelat, balok, kolom baru bahan gempas		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Sloop disamakan seperti balok induk		B	C	K
		- Hitungan pelat ditukar satu contoh hitungan yang lain ditabelkan		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	20 Mar 2017	- Momen pelat pakai PBI Sesuai yang diganti di kubah		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Bandingkan momen hitungan manual dan momen SAP di balok life		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket:

B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Dea Adlina Tiora W. 2 Ilham Rizky Darmawan
NRP : 1 3114 030 012 2 3114 030 083
Judul Tugas Akhir : Perencanaan ulang struktur gedung rumah sakit ibu dan anak dengan metode sistem rangka pemikul momen menengah (SRPM) dan metode pelaksanaan elemen kolom
Dosen Pembimbing : Ir. Boedi Wibowo, CES

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
4.	3 April 2017	- Samakan balok kantilever dengan balok anak				
		- Hapus balok kantilever luar jika perlu		B	C	K
		- Ganti Beban gempa jika merubah dimensi		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Kontrol manual tidak usah di masukkan laporan, tampilan di power point				
		- Metode pelaksanaan disebarkan di laporan, di jelaskan di ppt		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	6 April 2017	- Diameter 16 untuk plat tertentu besar. Persamaan perhitungan pakai PBE1		B	C	K
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	20 April 2017	- Balok induk acc		B	C	K
		- Momen tanga besar tidak apa-apa asalkan tau dasar		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Kolom pendek diperlukan kalau loop dipakai, kalau tidak		B	C	K
		stap dibuang dihirup sendiri		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.

B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Dea Adlina T.W. 2 Ilham Rizky D
NRP : 1 3114 030 012 2 3114 030 083
Judul Tugas Akhir : Perencanaan ulang struktur gedung rumah sakit ibi dan anaf dengan metode sistem rangka pemikul momen menengan (SRPMM) dan metode pelarsanaan elemen kolom
Dosen Pembimbing : Ir. Boedi Wibowo, CEs.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
7	2 Mei 2017	Hitungan cross dibagi cas kemiringan				
		Perletakan jepit - sendi - sendi				
		Hitungan cross 2D dengan 3D hasil		B	C	K
		beda.		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	12 Mei 2017	Momen plat di tangga sama pada				
		hasil SAP.		B	C	K
		Cek perhitungan SAP dengan manual		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		berat.				
		Pare tulangan lapangan untuk				
		perbandingan tulangan lumpuan.		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	25 Mei 2017	- Cek lagi barak antar tulangan				
		geser balok				
		- Cek hitungan penulangan kolom		B	C	K
		- Latihan presentasi tanggal		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		3 Juli 2017				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipi-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Dea Adlina Tiara W. 2 Ilham Rizky D.
NRP : 1 3114030012 2 3114030083
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Ulang Struktur gedung rumah sakit Ibu dan anak dengan metode sistem rangka pemikul momen menengah (CRPMN) dan metode pelaksanaan elemen kolom
Dosen Pembimbing : Ir. Boedi Wibowo, CES

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
10.	31 Mei 2017	Momen bordes disamakan dengan momen tangga				
		Cek momen bordes		B	C	K
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal

**PERENCANAAN ULANG STRUKTUR GEDUNG
RUMAH SAKIT IBU DAN ANAK DENGAN METODE
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH
(SRPMM) DAN METODE PELAKSANAAN ELEMEN
KOLOM**

Mahasiswa 1 : Dea Adlina Tiara Wibowo
NRP : 3114 030 012

Mahasiswa 2 : Ilham Rizky Darmawan
NRP : 3114 030 083

Departemen : Teknik Infrastruktur Sipil
Program Studi : Diploma III Teknik Sipil
Fakultas : Vokasi-ITS

Dosen Pembimbing : Ir. Boedi Wibowo, CES
NIP : 19530424 198203 1 002

ABSTRAK

Rumah sakit ibu dan anak dibutuhkan untuk mengimbangi pertumbuhan jumlah penduduk yang tidak terlepas dari angka kelahiran yang semakin meningkat, di kota-kota kecil khususnya. Dalam tugas akhir terapan ini, perencanaan rumah sakit ibu dan anak diambil dari pembangunan di Kota Blitar dengan melakukan modifikasi berupa penambahan jumlah lantai dari 3 menjadi 4 lantai yang berfungsi sebagai ruang rawat inap seiring bertambahnya jumlah penduduk dan perubahan tata letak

ruangan. Berdasarkan fungsi bangunan dan hasil uji SPT, Rumah sakit termasuk kategori resiko IV dengan kondisi tanah sedang yang memiliki nilai kategori desain seismik C sehingga perhitungan perencanaan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

Perencanaan dan perhitungan beban gempa menggunakan SNI 1726-2012 dan Peta Hazard Indonesia 2010. Perhitungan struktural menggunakan SNI 2847-2013 dan Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. Perhitungan pembebanan gedung menggunakan SNI 1727-2013. Sedangkan untuk pemodelan menggunakan program bantu SAP 2000 dan PCACOL. Selain menghitung perencanaan struktur, dalam Tugas Akhir ini menghitung volume tulangan serta meninjau tahapan pelaksanaan elemen kolom.

Pada perhitungan ini terdapat pembesaran dimensi kolom dari 500mmx500mm menjadi 650mmx650mm dikarenakan penambahan jumlah lantai dan dimensi balok menjadi lebih besar dari 400mmx700mm menjadi 450mmx700mm, serta memiliki rasio penulangan untuk portal melintang sebesar $167,1 \text{ kg/m}^3$ dan portal memanjang sebesar $188,13 \text{ kg/m}^3$. Untuk tahapan pelaksanaan kolom yang perlu diperhatikan adalah melakukan slump test untuk volume concrete mixer truck 6-7 m^3 dibutuhkan 2 benda uji silinder 150mmx300mm atau 3 benda uji silinder 100mmx200mm yang kemudian diwujudkan dalam bentuk laporan perhitungan struktur, detail gambar struktur maupun arsitektur, jumlah kebutuhan tulangan dan tahapan pelaksanaan elemen kolom.

Kata kunci : Analisa Struktur, Rumah Sakit, SRPMM, Tahapan Pelaksanaan

**STRUCTURE REDESIGN OF MATERNITY
HOSPITAL USING INTERMEDIATE MOMENT
FRAME SYSTEM METHOD AND
IMPLEMENTATION OF COLUMN METHOD**

Student 1 : Dea Adlina Tiara Wibowo
NRP : 3114 030 012

Student 2 : Ilham Rizky Darmawan
NRP : 3114 030 083

Department : Civil Infrastructure
Engineering

Course : Diploma III of Civil
Engineering

Faculty : Vocational-ITS

Supervisor : Ir. Boedi Wibowo, CES
NIP : 19530424 198203 1 002

ABSTRACT

The Maternal and Child Hospitals are needed to keep up with the growing number of people who are inseparable from increasing birth rates, in small towns in particular. In this final project, the design of Maternal and Childs Hospital is taken from development in Blitar City within modification in the form of addition of floor number from 3rd floors to 4th

floors that serve as inpatient room and changing the layout of the room. Based on building function and SPT result, the hospital belonging to the risk category 4 with medium soil condition that have value C of seismic design category so the design using intermediate moment frame system method.

The design and calculation of seismic load using SNI 1726-2012 and Indonesian Hazard Map 2010. The structural calculation using SNI 2847-2013 and Indonesian Concrete Reinforcement Rules 1971. The building load calculation using SNI 1727-2013. And the modeling using program SAP 2000 dan PCACOL. Besides calculating structural planning, in this final project calculating bar volume and review implementation stages of column elements.

In this calculation there is addition of column dimension from 500mmx500mm to 650mmx650mm due to the addition of the number of floors and the dimensions of the beam become larger from 450mmx700mm to 450mmx700mm and having bar ratio of tranverse portal of 167,1 kg/m³ and longitudinal portal of 188,13 kg/m³. For the implementation stage of the column to note is to do slump test for volume concrete mixer 6-7m³ required 2 150mmx300mm cylinder specimens and 3 100mmx200mm cylinder specimens which is manifested in the form of structural calculations report, shop drawing of structure and architecture which can be used as a reference in the implementation of construction and steps of construction of column elements.

Keywords : Structure Analysis, SPT, Intermediate Moment Frame System Method, Steps of Construction

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penyusun ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala rahmat dan hidayah-Nya penyusun dapat menyelesaikan penyusunan **Tugas Akhir Terapan** dengan judul :

**“PERENCANAAN ULANG STRUKTUR GEDUNG
RUMAH SAKIT IBU DAN ANAK DENGAN METODE
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH
(SRPMM) DAN METODE PELAKSANAAN ELEMEN
KOLOM”**

Tersusunnya tugas akhir terapan ini tidak terlepas juga dari berbagai pihak yang telah memberikan *support*, masukan serta arahan kepada penyusun. Untuk itu kami ucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua serta saudara-saudara penyusun, sebagai penyemangat terbesar penyusun, dan yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil.
2. Bapak Ir. Boedi Wibowo, CES selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, ilmu yang bermanfaat, arahan dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir terapan ini.
3. Senior kami Muchtihan Firmansyah yang telah memberikan arahan pada saat pengerjaan tugas akhir.
4. Teman-teman kuliah penyusun yang meluangkan waktu, tenaga serta ilmunya untuk *sharing* dan diskusi mengenai penyusunan proposal tugas akhir terapan ini.

5. Serta semua pihak yang mendukung dan turut serta memberikan bantuan dalam penyelesaian tugas akhir terapan yang tidak mampu disampaikan satu-persatu, kami ucapkan terima kasih sebesar-besarnya.

Penyusun menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir Terapan ini tidaklah sempurna. Maka dari itu, penyusun mengharapkan kritik serta saran yang membangun demi sempurnanya Tugas Akhir Terapan ini.

Akhir kata, penyusun mengucapkan mohon maaf yang sebesar-besarnya jika ada kekurangan dan kesalahan dalam Tugas Akhir Terapan ini.

Surabaya, Juni 2017

Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR NOTASI.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan.....	5
1.5. Data Perencanaan	5
1.6. Manfaat.....	6
1.7. Gambar Bangunan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Tinjauan Umum.....	9
2.2. Sistem Rangka Pemikul Momen	9
2.3. Sistem Rangka Pemikul Momen	10
2.3.1. Balok	12
2.3.2. Kolom.....	13
2.3.3. Pelat.....	15
2.3.4. Penyaluran dan Sambungan Tulangan	18

BAB III METODOLOGI PERENCANAAN	21
3.1. Pengumpulan Data.....	21
3.2. Preliminary Design	22
3.2.1. Penentuan Dimensi Sloof dan Balok	22
3.2.2. Penentuan Dimensi Kolom	22
3.2.3. Perencanaan Pelat	22
3.3. Perhitungan Pembebanan	26
3.3.1. Beban Mati	26
3.3.2. Beban Hidup	26
3.3.3. Beban Angin	27
3.3.4. Beban Hujan.....	27
3.3.5. Beban Gempa	28
3.4. Perhitungan Struktur.....	35
2.4.1. Perhitungan Penulangan Struktur Sekunder (pelat dan tangga).....	35
3.4.2. Perhitungan Penulangan Struktur Primer (balok dan kolom)	38
3.4.3. Perhitungan Panjang Penyaluran	49
3.5. Cek Syarat	51
3.6. Gambar Perencanaan	51
3.7. Perhitungan volume pembesian.....	52
3.8. Metode Pelaksanaan	53
3.8. Flow Chart	54
3.8.1. Flow Chart Proses Penyusunan Laporan	55
3.8.2. Flow Chart Penentuan Sistem Struktur	57
3.8.3. Flow Chart Perhitungan Struktur Sekunder	58

3.8.4.Flow Chart Perhitungan Struktur Primer	59
3.8.5.Flow Chart Perhitungan Penulangan Pelat.....	60
3.8.6.Flow Chart Perhitungan Penulangan Pelat Tangga dan Bordes.....	61
3.8.7.Flow Chart Perhitungan Penulangan Torsi Balok	62
3.8.8.Flow Chart Perhitungan Penulangan Lentur Balok	63
3.8.9.Flow Chart Perhitungan Penulangan Geser Balok	64
3.8.10.Flow Chart Perhitungan Penulangan Lentur Kolom.....	65
3.8.11.Flow Chart Perhitungan Penulangan Geser Balok	67
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	69
4.1. Penentuan Metode Sistem Struktur	69
4.2. Preliminary Design.....	74
4.2.1.Perencanaan Dimensi Balok.....	74
4.2.2.Perencanaan Dimensi Sloof	77
4.2.3.Perencanaan Dimensi Kolom	78
4.2.4.Perencanaan Dimensi Tangga	79
4.2.5.Perencanaan Dimensi Pelat Lantai	83
4.3. Perhitungan Pembebanan	89
4.3.1.Pembebanan pada Pelat.....	89
4.3.2.Beban Dinding.....	92
4.3.3.Beban Angin.....	93
4.3.4.Beban Hujan	95

4.3.5.Beban Gempa	95
4.3.6.Beban Lift	115
4.4. Perhitungan Struktur.....	116
4.4.1.Pelat.....	116
4.4.2.Tangga dan Bordes.....	140
4.4.3.Balok	165
4.4.4.Kolom.....	424
4.5. Perhitungan Volume Pembesian.....	465
4.6. Metode Pelaksanaan	478
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	491
5.1 Kesimpulan.....	491
5.2 Saran	498
DAFTAR PUSTAKA	499

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Tampak Depan Bangunan	7
Gambar 1.2. Tampak Belakang Bangunan.....	7
Gambar 1.3. Tampak Samping Kiri Bangunan	8
Gambar 1.4. Tampak Samping Kanan Bangunan	8
Gambar 2.1. Gambar Desain untuk Rangka Momen Menengah	15
Gambar 3.1. Gambar Perencanaan Pelat Satu Arah.....	23
Gambar 3.2. Gambar Perencanaan Pelat Dua Arah	23
Gambar 3.3. Faktor Panjang Efektif (k).....	45
Gambar 3.4. Detail Batang Tulangan Berkait Untuk Penyaluran Kait Standar.....	49
Gambar 3.5. Flow Chart Proses Penyusunan Laporan.....	56
Gambar 3.6. Flow Chart Proses Perhitungan Struktur Sekunder.....	57
Gambar 3.7. Flow Chart Proses Perhitungan Struktur Sekunder.....	58
Gambar 3.8. Flow Chart Proses Perhitungan Struktur Primer	59
Gambar 3.9. Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Pelat	60
Gambar 3.10. Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Pelat Tangga dan Bordes	61

Gambar 3.11. Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Torsi Balok.....	62
Gambar 3.12. Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Lentur Balok	63
Gambar 3.13. Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Geser Balok.....	64
Gambar 3.14. Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Lentur Kolom.....	66
Gambar 3.15. Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Geser Kolom	67
Gambar 4.1. Denah Perencanaan Balok Induk	74
Gambar 4.2. Denah Perencanaan Balok Anak	76
Gambar 4.3. Denah Perencanaan Sloof	77
Gambar 4.4. Denah Perencanaan Pelat Lantai	83
Gambar 4.5. Beban-beban yang Bekerja pada Balok Lift	116
Gambar 4.6. Tinggi Efektif Balok Bordes BB1	167
Gambar 4.7. Diagram Gaya Torsi Balok Bordes BB1	167
Gambar 4.8. Diagram Gaya Aksial Balok Bordes BB1	168
Gambar 4.9. Diagram Gaya Momen Lentur Lapangan Balok Bordes BB1	168
Gambar 4.10. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Bordes BB1	168
Gambar 4.11. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Bordes BB1	169
Gambar 4.12. Diagram Gaya Geser Balok Bordes BB1 ...	169

Gambar 4.13. Detail Tulangan Lentur Tumpuan Balok Bordes Tangga Utama.	190
Gambar 4.14. Detail Tulangan Lentur Lapangan Balok Bordes Tangga Utama.	190
Gambar 4.15. Potongan Penampang Balok Bordes Tangga Utama.	191
Gambar 4.16. Geser Desain Untuk SRPMM	194
Gambar 4.17. Tinggi Efektif Balok Bordes BB2	206
Gambar 4.18. Diagram Gaya Torsi Balok Bordes BB2	206
Gambar 4.19. Diagram Gaya Aksial Balok Bordes BB2 ..	207
Gambar 4.20. Diagram Gaya Momen Lentur Lapangan Balok Bordes BB2.....	207
Gambar 4.21. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Bordes BB2	207
Gambar 4.22. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Bordes BB2.....	208
Gambar 4.23. Diagram Gaya Geser Balok Bordes BB2 ...	208
Gambar 4.24. Detail Tulangan Lentur Tumpuan Balok Bordes Tangga Darurat	234
Gambar 4.25. Detail Tulangan Lentur Lapangan Balok Bordes Tangga Darurat	234
Gambar 4.26. Potongan Penampang Balok Bordes Tangga Darurat.....	235
Gambar 4.27. Geser Desain Untuk SRPMM	238

Gambar 4.28. Denah Balok Anak Melintang Yang Ditinjau	252
Gambar 4.29. Tinggi Efektif Balok Anak Melintang	253
Gambar 4.30. Diagram Gaya Torsi Balok Anak Melintang	254
Gambar 4.31. Diagram Gaya Aksial Balok Anak Melintang	254
Gambar 4.32. Diagram Gaya Momen Lentur Lapangan Balok Anak	254
Gambar 4.33. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Anak	255
Gambar 4.34. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Anak	255
Gambar 4.35. Diagram Gaya Geser Balok Anak	255
Gambar 4.36. Detail Tulangan Lentur Tumpuan Balok Anak Melintang	278
Gambar 4.37. Detail Tulangan Lentur Lapangan Balok Anak Melintang	279
Gambar 4.38. Potongan Penampang Balok Anak Melintang Elevasi $\pm 4,2$ M	280
Gambar 4.39. Geser Desain Untuk SRPMM	282
Gambar 4.40. Denah Balok Induk Yang Ditinjau Tipe Balok BII	294
Gambar 4.41. Tinggi Efektif Balok Induk	295
Gambar 4.42. Diagram Gaya Torsi Balok Induk	296

Gambar 4.43. Diagram Gaya Aksial Balok Induk	296
Gambar 4.44. Diagram Gaya Momen Lentur Lapangan Balok Induk	296
Gambar 4.45. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Induk.....	297
Gambar 4.46. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Induk	297
Gambar 4.47. Diagram Gaya Geser Balok Induk	297
Gambar 4.48. Detail Tulangan Lentur Tumpuan Balok Induk Melintang	325
Gambar 4.49. Detail Tulangan Lentur Lapangan Balok Induk Melintang	325
Gambar 4.50. Potongan Penampang Balok Induk Melintang.	326
Gambar 4.51. Geser Desain Untuk SRPMM	328
Gambar 4.52. Tinggi Efektif Sloof.....	343
Gambar 4.53. Diagram Gaya Torsi Sloof	344
Gambar 4.54. Diagram Gaya Aksial Sloof	344
Gambar 4.55. Diagram Gaya Momen Lentur Lapangan Sloof	344
Gambar 4.56. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kanan Sloof.....	345
Gambar 4.57. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kiri Sloof	345
Gambar 4.58. Diagram Gaya Geser Sloof.....	345

Gambar 4.59. Detail Tulangan Lentur Tumpuan Sloof Melintang	369
Gambar 4.60. Detail Tulangan Lentur Lapangan Sloof Melintang	369
Gambar 4.61. Potongan Penampang Sloof Melintang Elevasi $\pm 0,0$ M	370
Gambar 4.62. Geser Desain Untuk SRPMM	373
Gambar 4.63. Tinggi Efektif Balok Lift	385
Gambar 4.64. Diagram Gaya Torsi Balok Lift	386
Gambar 4.65. Diagram Gaya Aksial Balok Lift	386
Gambar 4.66. Diagram Gaya Momen Lentur Lapangan Balok Lift	386
Gambar 4.67. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Lift.....	387
Gambar 4.68. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Lift	387
Gambar 4.69. Diagram Gaya Geser Balok Lift	387
Gambar 4.70. Detail Tulangan Lentur Tumpuan Balok Lift	411
Gambar 4.71. Detail Tulangan Lentur Lapangan Balok Lift	411
Gambar 4.72. Potongan Penampang Balok Lift Melintang	412
Gambar 4.73. Geser Desain Untuk SRPMM	414
Gambar 4.74. Tinggi Efektif Kolom	426

Gambar 4.75. Diagram Gaya Aksial ($1,4D$) Kolom K-1 ..	426
Gambar 4.76. Diagram Gaya Aksial ($1,2D + 1,6L + 0,5L_r$) Kolom K-1	427
Gambar 4.77. Diagram Gaya Aksial ($1,2D + 0,3E_x + 1,0E_y + 1L$) Kolom K-1	427
Gambar 4.78. Diagram Gaya Aksial ($1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1L$) Kolom K-1	427
Gambar 4.79. Diagram M_{1ns} Sumbu X	428
Gambar 4.80. Diagram M_{2ns} Sumbu X	428
Gambar 4.81. Diagram M_{1ns} Sumbu Y	428
Gambar 4.82. Diagram M_{2ns} Sumbu Y	429
Gambar 4.83. Diagram M_{1s} Sumbu X	429
Gambar 4.84. Diagram M_{2s} Sumbu X	430
Gambar 4.85. Diagram M_{1s} Sumbu Y	430
Gambar 4.86. Diagram M_{2s} Sumbu Y	430
Gambar 4.87. Nomogram Faktor Kekakuan Kolom (Rangka Bergoyang)	435
Gambar 4.88. Tabel Diagram Interaksi	438
Gambar 4.89. Tabel Diagram Interaksi	447
Gambar 4.90. Penampang Kolom K-1	454
Gambar 4.91. Grafik Akibat Momen Pada Pcacolum	455
Gambar 4.92. Hasil <i>Output</i> Pada Pcacolumn	456
Gambar 4.93. Gaya Lintang Rencana Untuk SRPMM	458
Gambar 4.94. Lintang Rencana Untuk SRPMM	458

Gambar 4.95. <i>Tower Crane</i>	478
Gambar 4.96. <i>Bar Cutter</i>	479
Gambar 4.97. <i>Bar Bender</i>	480
Gambar 4.98. <i>Concrete Bucket</i> dan <i>Pipa Tremie</i>	481
Gambar 4.99. Pengangkatan Penulangan dengan Menggunakan <i>Tower Crane</i>	482
Gambar 4.100. Pemasangan Tulangan Kolom.....	483
Gambar 4.101. Penulangan Kolom	483
Gambar 4.102. Pengangkatan dan Pemasangan Bekisting dengan <i>Tower Crane</i>	484
Gambar 4.103. Bekisting Kolom	485
Gambar 4.104. <i>Slump Test</i> beton	486
Gambar 4.105. Benda Uji Silinder.....	486
Gambar 4.106. Proses pengecoran Beton dengan Menggunakan <i>Bucket</i>	487
Gambar 4.107. Animasi pengecoran Kolom	488
Gambar 4.108. Pembongkaran Bekisting Kolom	489
Gambar 4.109. Perawatan Beton Kolom (<i>curing</i>).....	490
Gambar 4.110. Pasca pengecoran Kolom	490

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Faktor untuk Sistem Penahan Gaya Gempa.....	10
Tabel 2.2. Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah bila Lendutan Tidak Dihitung	16
Tabel 2.3. Lendutan Izin Maksimum yang Dihitung	16
Tabel 2.4. Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior	17
Tabel 3.1. Tabel Perhitungan Momen-Momen pada Pelat..	24
Tabel 3.2. Klasifikasi Situs	28
Tabel 3.3. Kategori Resiko untuk Bangunan Gedung.....	29
Tabel 3.4. Faktor Keutamaan Gempa.....	31
Tabel 3.5. Koefisien Situs, F_a	31
Tabel 3.6. Koefisien Situs, F_v	32
Tabel 3.7. Nilai Parameter Perioda Pendekatan	33
Tabel 3.8. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa	33
Tabel 3.9. Berat Besi Tulangan	53
Tabel 4.1. Data SPT Tanah Bangunan	69
Tabel 4.2. Berat Seismik Efektif Bangunan	100
Tabel 4.3. Distribusi Vertikal Gaya Gempa	102
Tabel 4.4. Gaya Gempa per Kolom Lantai 1	104
Tabel 4.5. Gaya Gempa per Kolom Lantai 2	105
Tabel 4.6. Gaya Gempa per Kolom Lantai 3	107
Tabel 4.7. Gaya Gempa per Kolom Lantai 4	110

Tabel 4.8. Gaya Gempa per Kolom Lantai Atap	112
Tabel 4.9. Gaya Gempa per Kolom Ruang Lift	114
Tabel 4.10. Beban Reaksi Lift	115
Tabel 4.11. Tabel Perhitungan Cross Tangga	144

DAFTAR NOTASI

A_{cp}	= Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (mm^2)
A_g	= Luas bruto penampang (mm^2)
A_p	= Luas permukaan ujung tiang (m^2)
A_s'	= Luas tulangan tekan (mm^2)
A_s	= Luas selimut tiang (m^2)
A_s	= Luas tulangan tarik longitudinal non-prategang (mm^2)
A_{sc}	= Luas tulangan tarik utama dalam korbel atau brakiet (<i>bracket</i>) (mm^2)
A_t	= Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan torsi dalam spasi s (mm^2)
A_v	= Luas tulangan geser yang berspasi s (mm^2)
b	= Lebar muka tekan komponen struktur (mm)
b_o	= Keliling penampang kritis untuk geser pada slab dan pondasi telapak (mm)
b_w	= Lebar badan (mm)
C_s	= Koefisien respons gempa.
c_b	= yang lebih kecil dari : (a) jarak dari pusat batang tulangan atau kawat ke permukaan beton terdekat, dan (b) setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan atau kawat yang disalurkan (mm)
d	= Jarak dari sekat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal (mm)
d'	= Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan longitudinal (mm)
d_b	= Diameter nominal batang tulangan, kawat, atau strand (<i>strand</i>) prategang (mm)
E	= Pengaruh gempa atau momen dan gaya yang terkait

- F_a = Koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik).
 F_i = Distribusi vertikal gaya gempa
 F_v = Koefisien situs untuk perioda panjang.
 f_c' = Kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa)
 f_s = Tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan (MPa)
 f_s' = Tegangan dalam tulangan tekan yang terkena beban terfaktor (MPa)
 f_y = Kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan (MPa)
 f_{yt} = Kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan f_y (MPa)
 h = Tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur (mm)
 h_n = Ketinggian struktur bangunan gedung
 I = Momen inersia penampang terhadap sumbu pusat (mm^4)
 I_c = Faktor keutamaan
 I_g = Momen inersia penampang beton bruto terhadap sumbu pusat, yang mengabaikan tulangan (mm^4)
 k = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur
 k_{tr} = indeks tulangan transversal
 l = Panjang bentang balok atau *slab* satu arah (mm)
 l_d = Panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir, kawat ulir, tulangan kawat las polos dan ulir, atau strand pratarik (mm)
 l_{dc} = Panjang penyaluran tekan batang tulangan ulir dan kawat ulir (mm)
 l_{dh} = Panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir atau kawat ulir dengan kait standar, yang diukur dari penampang kritis (panjang penanaman lurus)

- antara penampang kritis dan awal kait [titik tangen]
ditambah jari-jari
dalam bengkokan dan satu diameter batang
tulangan) (mm)
- I_n = Panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka
tumpuan (mm)
- I_o = Panjang diukur dari muka joint sepanjang sumbu
komponen struktur dimana tulangan transversal
khusus harus disediakan (mm)
- I_u = Panjang tak tertumpu komponen struktur tekan (mm)
- M_1 = Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada
komponen struktur tekan, diambil positif jika
komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur
tunggal, dan negatif
jika dibengkokkan dalam kurvatur ganda (N.mm)
- M_2 = Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada
komponen struktur tekan. Jika pembebanan
transversal terjadi di antara tumpuan, M_2 diambil
sebagai momen terbesar yang terjadi dalam
komponen struktur. Nilai M_2 selalu positif (N.mm)
- M_n = Kekuatan lentur nominal pada penampang (N.mm)
- M_{nb} = Kekuatan lentur nominal balok termasuk pelat
bilamana tertarik (N.mm)
- M_{nc} = Kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke
dalam joint, yang dihitung untuk gaya aksial
terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang
ditinjau, yang menghasilkan kuat lentur yang
terendah (N.mm)
- M_o = Momen statis terfaktor (N.mm)
- M_u = Momen terfaktor pada penampang (N.mm)
- n = Jumlah benda
- N = Nilai SPT pada ujung tiang

- N_{av} = Rata-rata nilai SPT sepanjang tiang
 N_u = Gaya aksial terfaktor tegak lurus terhadap penampang yang terjadi serentak dengan V_u atau T_u , diambil positif untuk tekan dan negatif untuk tarik (N)
 P_c = Beban tekuk kritis (N)
 P_{cp} = Keliling luar penampang beton (mm)
 P_h = Keliling garis pusat tulangan torsi transversal tertutup luar (mm)
 P_u = Gaya aksial terfaktor (N)
 Q_p = Daya dukung ujung tiang
 Q_s = Daya dukung selimut tiang
 Q_u = Daya dukung ultimate tiang (ton)
 r = Radius girasi penampang komponen struktur tekan (mm)
 R = Koefisien modifikasi respons
 SF = Angka keamanan
 S_s = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen.
 S_1 = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen.
 S_{DS} = Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, redaman 5 persen.
 S_{D1} = Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, redaman 5 persen.
 S_{MS} = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
 S_{M1} = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
 s = Spasi pusat ke pusat suatu benda (mm)

- s_o = Spasi pusat ke pusat tulangan transversal dalam panjang l_o (mm)
 T = Periode fundamental bangunan
 T_n = Kekuatan momen torsi nominal (N.mm)
 T_u = Momen torsi terfaktor pada penampang (N.mm)
 T_a = Periode fundamental pendekatan
 V = Geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau
 V_c = Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton (N)
 V_s = Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser (N)
 V_u = Gaya geser terfaktor pada penampang (N)
 W = Berat seismik efektif bangunan.
 x = Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih pendek.
 y = Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih panjang.
 Ω_0 = Faktor amplifikasi untuk memperhitungkan kekuatan lebih sistem penahan gaya seismik yang ditetapkan sesuai dengan tata cara bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal.
 α_f = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar pelat yang dibatasi secara lateral oleh garis pusat panel yang disebelahnya (jika ada) pada setiap sisi balok.
 α_{fm} = Nilai rata-rata α_f
 β = Rasio dimensi panjang terhadap pendek
 β_1 = Faktor yang menghubungkan tinggi balok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral

- λ = Faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan
- δ = Faktor pembesaran momen untuk mencerminkan pengaruh kurvatur komponen struktur antara ujung-ujung komponen struktur tekan.
- Ψ_e = Faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada pelapis tulangan.
- Ψ_s = Faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada ukuran tulangan.
- Ψ_t = Faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada lokasi tulangan.
- ρ = rasio A_s terhadap bd .

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Struktur memiliki peranan penting pada kekokohan suatu bangunan, kekuatan utama pada bangunan terletak pada struktur yang kuat dan tepat. Perencanaan dan perhitungan struktur yang tepat merupakan unsur yang penting pada pembangunan suatu gedung agar dapat menghasilkan bangunan yang kuat, aman dan ekonomis.

Rumah Sakit Ibu dan Anak Aminah Blitar merupakan salah satu bangunan yang dibangun untuk pelayanan umum di bidang kesehatan. Proyek ini dibangun untuk memenuhi kebutuhan hidup akan hunian dan investasi properti bagi pemilik properti. *Owner* dari proyek ini adalah Yayasan Muhammadiyah. Pembangunan RSIA Aminah Blitar menggunakan struktur beton bertulang pada strukturnya dan dibangun dengan total 3 lantai yang terbagi menjadi 3 *section*, dimana *section A* lantai pertama digunakan sebagai poliklinik, lantai kedua digunakan sebagai ruangan rawat inap VIP dan ruang rawat inap kelas 1, sedangkan lantai ketiganya akan difungsikan sebagai aula dan kantor-kantor seperti kantor direktur, kantor keuangan dan lain-lain. Pada *section B* lantai pertama digunakan untuk *lobby*, resepsionis, farmasi serta Administrasi. Lantai kedua digunakan untuk ruang tunggu kantin dan mushola, sedangkan lantai ketiga hanya akan digunakan sebagai akses jalan melalui tangga maupun lift, dan pada *section C* lantai pertama digunakan sebagai Instalasi Gawat Darurat (IGD) serta lantai keduanya akan difungsikan

sebagai ruang rawat inap untuk ibu dan ruang rawat inap untuk anak, baik kelas 2 maupun kelas 3, sedangkan lantai teratasnya digunakan sebagai ruang operasi dan ruang ICU.

Pada penyusunan Tugas Akhir Terapan ini, berdasarkan standar studi Diploma III, Rumah Sakit Ibu dan Anak Aminah ini akan dijadikan obyek tugas akhir dengan perubahan desain yang menambahkan konsep kenyamanan bagi penggunaanya. Pada perencanaan ini, akan dilakukan perubahan jumlah lantai menjadi 4 lantai dengan penambahan 1 lantai dari keadaan eksisting yaitu 3 lantai. Selain perubahan pada jumlah total lantai, konstruksi atap juga akan dilakukan perubahan yaitu dari semula rangka baja menjadi konstruksi atap pelat beton.

Letak Rumah Sakit Ibu dan Anak ini berdekatan dengan sawah sehingga dalam perencanaan ini akan dilakukan beberapa perubahan untuk denah bangunan, yaitu pada bagian ruang rawat inap akan diatur menghadap ke area persawahan untuk memberikan suasana nyaman kepada pasien sehingga pasien dapat beristirahat dengan nyaman dan diharapkan dapat sembuh dengan cepat. Konsep ini penyusun usung untuk memanfaatkan daerah persawahan yang hijau agar dapat digunakan pasien menenangkan pikiran dan memberikan kesejukan seperti berada di alam terbuka. Sedangkan untuk ruang-ruang tertutup seperti ruang operasi akan diletakkan pada bangunan bagian depan yang menghadap ke arah jalan karena ruangan tersebut tidak difokuskan pada *view* yang didapat dan merupakan ruangan yang steril sehingga fungsi jendela sebagai sirkulasi udara kurang diperlukan. Untuk ruangan kantor, administrasi, dan ruangan dokter penyusun letakkan menghadap area perumahan. Sedangkan pada lantai 1 terdapat

penambahan ruangan yang berfungsi sebagai minimarket, cafe dan keperluan sehari-hari lainnya.

Perencanaan ulang Rumah Sakit Ibu dan Anak ini menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) sesuai dengan ketentuan peraturan beton untuk bangunan gedung SNI 2847-2013 dengan memperhatikan tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung SNI 1726-2012. Berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 penentuan gempa ditinjau dari kondisi tanah dimana bangunan tersebut akan dibangun, dimana tanah tersebut menentukan metode perencanaan yang dipakai seperti Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Rumah Sakit Ibu dan Anak termasuk bangunan dengan kategori resiko IV. Berdasarkan hasil pengujian SPT, diketahui bahwa gedung dibangun diatas tanah dengan kondisi tanah sedang (SD) dan berdasarkan parameter respons percepatan gempa termasuk kategori desain seismik C, sehingga perhitungan pada struktur gedung Rumah Sakit Ibu dan Anak ini menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana merencanakan perubahan denah bangunan Rumah Sakit Ibu dan Anak Aminah Blitar menjadi bangunan Rumah Sakit Ibu dan Anak yang berkonsep nyaman?
2. Merencanakan struktur gedung Rumah Sakit Ibu dan Anak dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)?

3. Bagaimana merencanakan struktur primer (balok dan kolom) dan struktur sekunder (pelat dan tangga) menurut SNI 2847-2013?
4. Bagaimana cara menentukan kebutuhan tulangan lentur, geser, aksial dan torsi yang diperlukan sebagai penguat pada elemen-elemen strukturnya?
5. Bagaimana mengaplikasikan perhitungan struktur dalam bentuk gambar perencanaan?
6. Bagaimana perhitungan volume tulangan kolom dan balok pada satu portal melintang dan satu portal memanjang?
7. Bagaimana menjelaskan metode pelaksanaan pada elemen struktur kolom?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada perencanaan ulang Rumah Sakit Ibu dan Anak ini adalah :

1. Analisis beban gempa dilakukan dengan metode analisa beban statik ekuivalen berdasarkan peraturan gempa di Indonesia (SNI 1726-2012)
2. Perencanaan gedung ini hanya meninjau strukturnya saja, kecuali pondasi, tidak meninjau analisa biaya dan waktu serta manajemen konstruksi.
3. Perencanaan bangunan meliputi:
 - a. Struktur primer : Balok induk dan kolom
 - b. Struktur sekunder : Pelat, tangga dan balok anak
 - c. Struktur atap : Pelat beton
4. Perhitungan hanya meninjau pada 2 portal yaitu 1 portal memanjang dan 1 portal melintang.
5. Perencanaan ini tidak termasuk memperhitungkan struktur sistem utilitas bangunan, pembuangan saluran air bersih, instalasi/jaringan dan finishing.

6. Perhitungan volume kebutuhan besi untuk penulangan dalam perencanaan ini hanya meliputi 2 portal yang ditinjau.
7. Tahapan dan metode pelaksanaan pada perencanaan ini hanya meliputi elemen struktur kolom.

1.4. Tujuan

Tujuan penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Dapat merencanakan struktur gedung bertingkat Rumah Sakit Ibu dan Anak dengan mengutamakan konsep kenyamanan.
2. Dapat merencanakan struktur gedung bertingkat Rumah Sakit Ibu dan Anak dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
3. Dapat merencanakan struktur gedung bertingkat Rumah Sakit Ibu dan Anak sesuai dengan SNI Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung (SNI 1726-2012) dan SNI Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013) serta dengan pembebanan berdasar SNI Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013).
4. Mampu menuangkan hasil perhitungan struktur ke dalam gambar teknik.
5. Mampu menjelaskan metode pelaksanaan berupa tahapan pelaksanaan pada elemen struktur.

1.5. Data Perencanaan

Nama bangunan	: Rumah Sakit Ibu dan Anak Blitar
Fungsi bangunan	: Rumah sakit
Jumlah lantai	: 4

Luas bangunan : $\pm 6360 \text{ m}^2$
Konstruksi atap : Pelat beton bertulang
Material Konstruksi : Beton bertulang
Mutu beton : 25 MPa

1.6. Manfaat

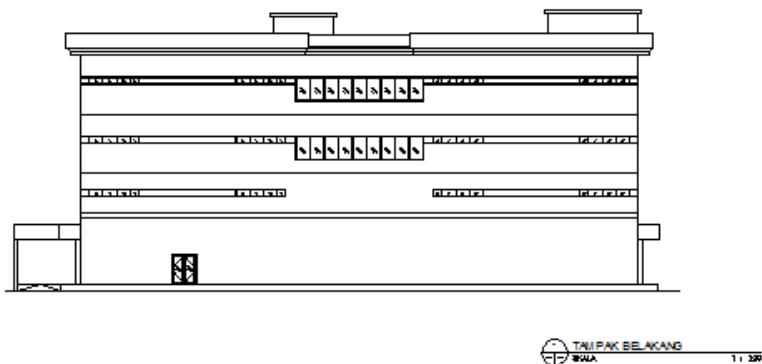
Manfaat penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Mahasiswa dapat merencanakan struktur gedung dengan konsep terkini dan dengan konsep kenyamanan.
2. Mahasiswa dapat merencanakan struktur gedung bangunan bertingkat dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
3. Mahasiswa dapat merencanakan struktur gedung bertingkat sesuai dengan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung (SNI 1726-2012), SNI 2847-2013 Beton Struktural Bangunan Gedung dengan pembebanan berdasarkan pada peraturan Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013).
4. Mahasiswa dapat menjelaskan metode pelaksanaan pada elemen struktur.

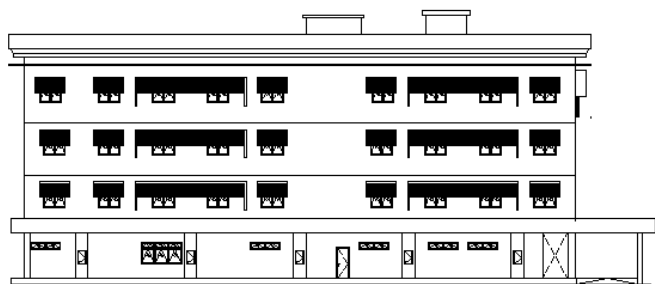
1.7. Gambar Bangunan



Gambar 1.1. Tampak Depan Bangunan

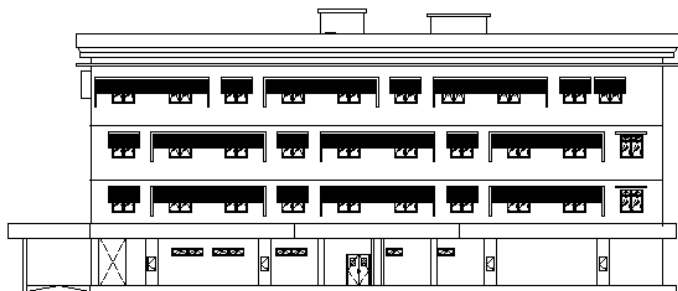


Gambar 1.2. Tampak Belakang Bangunan



TAMPAK SAMPING KIRI
SKALA 1 : 200

Gambar 1.3. Tampak Samping Kiri Bangunan



TAMPAK SAMPING KANAN
SKALA 1 : 200

Gambar 1.4. Tampak Samping Kanan Bangunan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Di dalam bab ini akan dibahas lebih lanjut mengenai teori dan perhitungan struktur metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) untuk struktur gedung bertingkat Rumah Sakit Ibu dan Anak. Perhitungan meliputi plat lantai, balok (balok induk dan balok anak), dan kolom.

Peraturan yang digunakan adalah :

1. PBBI – 1971 Peraturan Beton Bertulang Indonesia.
2. Peta Hazard Gempa Indonesia 2010
3. SNI 1726-2012 Tata cara Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.
4. SNI 1727-2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain
5. SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

2.2. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen biasa disebut *moment resisting frame* merupakan sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur.

Terdapat 3 jenis sistem rangka pemikul momen yang dibedakan menurut zona gempa di Indonesia dan mengacu pada SNI Gempa 1726-2012, yaitu :

Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Pada perhitungan SNI Gempa 1726-2012 ketiga jenis sitem rangka dibedakan juga oleh koefisien modifikasi respons (R^a), faktor kuat lebih sistem, dan faktor pembesaran defleksi. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Tabel 2.1. Faktor untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^e	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_s (m) c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D d	E d	F e
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 d,f	TI g	TI f
4. Rangka baja pemikul momen biasa	2½	2	2	TB	TB	TI g	TI g	TI f
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI

(SNI 1726-2012 pasal 7.2.2 tabel 9)

2.3. Sistem Rangka Pemikul Momen

Pada SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung pasal 21.3 dijelaskan peraturan dan

persyaratan sistem rangka pemikul momen menengah. Dalam persyaratan ini berlaku untuk rangka momen menengah yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa. Detail tulangan pada komponen struktur rangka harus memenuhi tulangan balok bila gaya tekan aksial terfaktor P_u , untuk komponen struktur yang tidak melebihi $A_g f_c' / 10$. Bila P_u lebih besar, detail tulangan rangka harus memenuhi tulangan kolom. Bila sistem slab dua arah tanpa balok membentuk sebagian dari sistem penahan gaya gempa, detail tulangan pada sebarang bentang yang menahan momen yang diakibatkan oleh E harus memenuhi tulangan slab dua arah tanpa balok.

Untuk kekuatan geser, balok yang menahan pengaruh gempa, E , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari (a) dan (b) :

- a. Jumlah geser yang terkait dengan pengembangan M_n , balok pada setiap ujung bentang bersih yang terkekang akibat lentur kurvatur balik dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor.
- b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan E , dengan E diasumsikan sebesar dua kali yang ditetapkan oleh tata cara bangunan umum yang diadopsi secara legal untuk desain tahan gempa.

Untuk kekuatan geser kolom, kolom yang menahan pengaruh gempa, E , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari (a) dan (b) :

- a. Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat lentur kurvatur balik. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.

- b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan E , dengan E ditingkatkan oleh Ω_0 .

2.3.1. Balok

Balok merupakan elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan juga geser.

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), (c), dan (d):

- (a) $d/4$;
- (b) Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi;
- (c) 24 kali diameter batang tulangan sengkang;
- (d) 300 mm.

Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok sesuai pasal 21.3.4.3 SNI 2847-2013.

2.3.2. Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur (Sudarmoko dalam PU, 1996).

Kolom harus ditulangi secara spiral, dimana tulangan spiral harus terdiri dari batang tulangan atau kawat menerus yang berspasi sama dari ukuran yang sedemikian dan digabungkan sedemikian rupa.

Pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan dengan spasi s_0 sepanjang panjang l_0 diukur dari muka joint. Sesuai dengan pasal 21.3.5.2 SNI 2847-2013, spasi s_0 tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), (c), dan (d):

- a. Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- b. 24 kali diameter batang tulangan begel
- c. Setengah dimensi penampang kolom terkecil
- d. 300 mm

Panjang l_0 tidak boleh lebih kecil dari yang terbesar dari

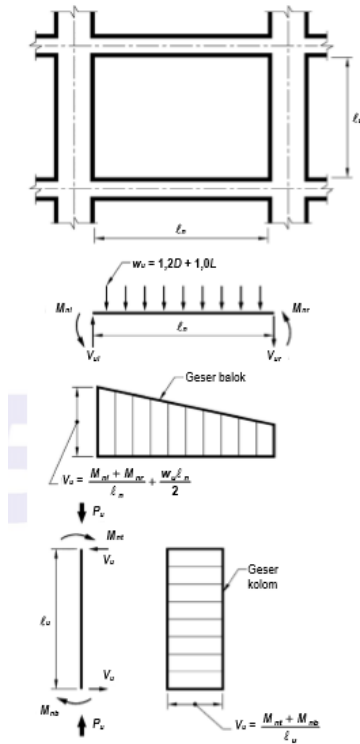
:

- a. Seperenam bentang bersih kolom
- b. Dimensi penampang maksimum kolom
- c. 450 mm

Sengkang tertutup pertama ditempatkan tidak lebih dari $s_0/2$ dari muka joint. Diluar panjang l_0 , spasi tulangan transversal harus memenuhi SNI 2847 2013 pasal 7.10 dan 11.4.5.1 yang menjelaskan bahwa spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak

boleh melebihi $d/2$ pada komponen struktur non-prategang dan $0,75h$ pada komponen struktur prategang, ataupun 600 mm.

Tulangan transversal joint harus memenuhi SNI 2847-2013 Pasal 11.10. Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku tak menerus, seperti dinding, harus disediakan dengan tulangan transversal dengan spasi, s_0 yang telah disyaratkan, sepanjang tinggi penuh dibawah tingkat-dimana diskontinuitas terjadi jika bagian gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur ini terkait dengan pengaruh gempa yang melebihi $(A_g f_c' / 10)$. Bila gaya desain harus diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertikal sistem penahan gaya gempa, batas $(A_g f_c' / 10)$ harus ditingkatkan menjadi $(A_g f_c' / 4)$. Tulangan transversal ini harus menerus diatas dan dibawah kolom seperti yang disyaratkan dalam SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4.6(b).



(SNI 2847-2013 pasal 21.3.5 gambar S21.3.3)

Gambar 2.1. Gambar Desain untuk Rangka Momen Menengah

2.3.3. Pelat

Ketebalan pelat dihitung dengan memperhatikan lendutan minimum berdasarkan SNI 2847-2013. Kontruksi plat terbagi menjadi 2 jenis yaitu konstruksi pelat satu arah dan konstruksi pelat dua arah.

Tabel 2.2. Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah bila Lendutan Tidak Dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	$\ell/20$	$\ell/24$	$\ell/28$	$\ell/10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$\ell/16$	$\ell/18,5$	$\ell/21$	$\ell/8$

CATATAN:
 Panjang bentang dalam mm.
 Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut:
 (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*), w_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.
 (b) Untuk f_c selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_c/700)$.

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.2.2 tabel 9.5(a))

Untuk persyaratan konstruksi pelat dua arah, yaitu :

Tabel 2.3. Lendutan Izin Maksimum yang Dihitung

Jenis komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup L	$\ell/180^*$
Lantai yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup L	$\ell/360$
Jenis komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup) [†]	$\ell/480^{\ddagger}$
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar.		$\ell/240^{\S}$

^{*}Batasan ini tidak dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan penggenangan air. Kemungkinan penggenangan air harus diperiksa dengan melakukan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat adanya penggenangan air tersebut, dan mempertimbangkan pengaruh jangka panjang dari beban yang selalu bekerja, lawan lendut (*camber*), toleransi konstruksi, dan keandalan sistem drainase.
[†]Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan ketentuan 9.5.2.5 atau 9.5.4.3, tetapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum penambahan komponen non-struktur. Besarnya nilai lendutan ini harus ditentukan berdasarkan data teknis yang dapat diterima berkenaan dengan karakteristik hubungan waktu dan lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau.
[‡]Batas lendutan boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap komponen yang ditumpu atau yang disatukan telah dilakukan.
[§]Batas lendutan tidak boleh lebih besar dari toleransi yang disediakan untuk komponen non-struktur. Batasan ini boleh dilampaui bila ada lawan lendut yang disediakan sedemikian hingga lendutan total dikurangi lawan lendut tidak melebihi batas lendutan yang ada.

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.1 tabel 9.5(b))

Untuk pelat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya, **h**, harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Untuk α_{fm} yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan

Tabel 2.4. Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior

Tegangan leleh, f_y MPa ¹	Tanpa penebalan ²			Dengan penebalan ²		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ³		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ³	
280	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 40$
420	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
520	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$

¹Untuk konstruksi dua arah, ℓ_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.
²Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.
³Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5.
⁴Pelat dengan balok di antara kolom-kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.2 tabel 9.5(c))

- b. Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, **h** tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)}$$

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3)

dan tidak boleh kurang dari 125mm;

- c. Untuk α_{fm} lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3)

dan tidak boleh kurang dari 90mm.

- d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α_f tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan Pers. Poin (b) atau poin (c) harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

Bagian l_n dalam (b) dan (c) adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang diukur muka ke muka balok. Bagian β dalam (b) dan (c) adalah rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap pendek pelat.

2.3.4. Penyaluran dan Sambungan Tulangan

Tarik dan tekan yang dihitung pada tulangan disetiap penampang komponen struktur beton harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang tersebut melalui panjang penyaluran.

- Penyaluran tulangan momen positif.
Paling sedikit sepertiga tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana, dan seperempat tulangan momen positif pada komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka komponen struktur yang sama ke dalam tumpuan. Pada balok, tulangan tersebut harus diteruskan ke dalam paling sedikit 150 mm.

(SNI 2847-2013 pasal 12.11)

- Penyaluran tulangan momen negatif.
Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik belok tidak kurang dari:

- a. D
- b. $12d_b$
- c. $L_n/16$

Dimana diambil nilai terbesar dari ketiga persamaan diatas.

(SNI 2847-2013 pasal 12.12)

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PERENCANAAN

Langkah – langkah dalam perencanaan struktur gedung Rumah Sakit Ibu dan Anak dengan metode gempa lima ratus (500) tahun dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut :

3.1. Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan dalam perencanaan ini adalah:

a. Gambar Struktur Bangunan

Gambar struktur bangunan digunakan untuk menentukan dimensi elemen-elemen struktur (balok dan sloof, kolom dan pelat).

b. Gambar Arsitektur Bangunan

Gambar arsitektur digunakan untuk menentukan dimensi gedung. Terdapat beberapa perubahan untuk perencanaan yang mengambil obyek gedung Rumah Sakit Ibu dan Anak Aminah Blitar yaitu:

- Jumlah lantai direncanakan menjadi 4 lantai dari jumlah awal 3 lantai.
- Rangka atap bangunan dirubah menjadi rangka atap beton dari yang awalnya adalah rangka atap baja.
- Letak ruang disejajarkan dengan posisi kolom.
- Perubahan denah dan letak ruangan.

c. Data Tanah pada Bangunan

Data tanah berupa data bor dalam dan SPT yang dipergunakan untuk perhitungan gempa. Data bor dalam dan SPT didapatkan dari Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dengan

menggunakan data tanah asli pada bangunan gedung Rumah Sakit Ibu dan Anak Aminah Blitar.

- d. Peraturan dan buku penunjang lainnya sebagai dasar teori maupun pendukung untuk Tugas Akhir ini.

3.2. Preliminary Design

Penentuan dimensi elemen-elemen struktur dikerjakan dengan mengacu pada SNI 2847-2013 maupun ketentuan lain sesuai dengan literatur yang dipakai. Elemen-elemen struktur yang direncanakan adalah:

3.2.1. Penentuan Dimensi Sloof dan Balok

Perencanaan tinggi (h) sloof dan balok berdasarkan Tabel 2 pada Bab 2 atau tabel 9.5 (a) pada SNI 2847-2013 yaitu tabel Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung. Sedangkan untuk lebar (b) sloof dan balok diambil nilai $2/3$ dari tinggi (h) sloof dan balok yang telah didapatkan.

3.2.2. Penentuan Dimensi Kolom

$$\frac{I_{kolom}}{l_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{l_{balok}}$$

Dimana :

I_{kolom} = Inersia kolom ($1/12 \times b \times h^3$)

l_{kolom} = tinggi bersih kolom

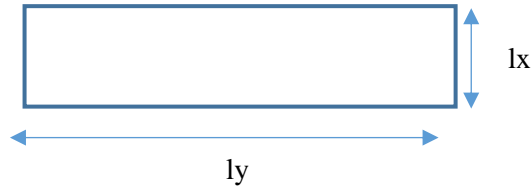
I_{balok} = Inersia balok ($1/12 \times b \times h^3$)

l_{balok} = panjang bersih balok

3.2.3. Perencanaan Pelat

- Perencanaan Pelat satu arah

Pelat satu arah terjadi apabila : $\frac{l_y}{l_x} > 2$, dimana l_y = bentang terpanjang dan l_x = bentang terpendek.



Gambar 3.1. Gambar Perencanaan Pelat Satu Arah

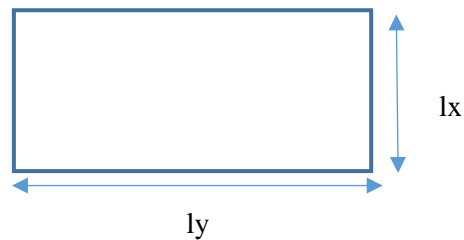
maka perhitungan pelat satu arah sama dengan perhitungan balok.

$$\text{Mu (lapangan)} = \frac{1}{16} \times q_u \times l_y^2$$

$$\text{Mu (tumpuan)} = \frac{1}{24} \times q_u \times l_y^2$$

- **Perencanaan pelat dua arah**

Pelat satu arah terjadi apabila : $\frac{l_y}{l_x} < 2$, dimana l_y = bentang terpanjang dan l_x = bentang terpendek.



Gambar 3.2. Gambar Perencanaan Pelat Dua Arah

maka perhitungan pelat dua arah menggunakan tabel 13.3.1 PBI-1971.

Tabel 3.1. Tabel Perhitungan Momen-Momen pada Pelat

Tipe Pelat	Momen	b_y / b_x															
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
I	$M_{Lx} = +0.001 q l^2 X$	44	82	89	66	79	78	84	88	95	97	100	109	106	108	110	112
	$M_{Ly} = +0.001 q l^2 X$	44	48	48	44	44	43	41	40	39	38	37	36	36	34	33	32
II	$M_{Lx} = +0.001 q l^2 X$	21	29	29	31	34	36	37	38	40	40	41	41	41	42	42	42
	$M_{Ly} = +0.001 q l^2 X$	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	10	9
III	$M_{Lx} = +0.001 q l^2 X$	82	89	64	69	79	76	79	81	82	89	83	83	83	83	83	83
	$M_{Ly} = +0.001 q l^2 X$	82	84	86	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87
IVa	$M_{Lx} = +0.001 q l^2 X$	28	33	38	42	48	48	51	53	58	57	58	59	59	60	61	63
	$M_{Ly} = +0.001 q l^2 X$	28	28	27	26	28	25	23	22	21	19	18	17	17	16	16	15
IVb	$M_{Lx} = +0.001 q l^2 X$	68	77	88	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	123
	$M_{Ly} = +0.001 q l^2 X$	68	72	74	76	77	77	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
V	$M_{Lx} = +0.001 q l^2 X$	22	28	34	42	49	58	62	68	74	80	88	89	93	97	100	105
	$M_{Ly} = +0.001 q l^2 X$	32	38	37	39	40	41	41	41	41	40	39	38	37	36	36	36
Vb	$M_{Lx} = +0.001 q l^2 X$	70	79	87	94	100	108	109	112	118	117	119	120	121	122	123	124
	$M_{Ly} = +0.001 q l^2 X$	92	94	96	98	99	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42
VI	$M_{Lx} = +0.001 q l^2 X$	22	20	18	17	16	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	8
	$M_{Ly} = +0.001 q l^2 X$	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	83	83	83	83
VIIa	$M_{Lx} = +0.001 q l^2 X$	31	38	48	83	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	108	108
	$M_{Ly} = +0.001 q l^2 X$	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	36	34	33
VIIb	$M_{Lx} = +0.001 q l^2 X$	84	92	99	104	109	112	118	117	119	121	122	122	123	123	124	124
	$M_{Ly} = +0.001 q l^2 X$	37	41	48	48	51	53	58	56	58	59	60	60	60	61	61	62
VIIIa	$M_{Lx} = +0.001 q l^2 X$	31	30	28	27	28	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15
	$M_{Ly} = +0.001 q l^2 X$	84	92	98	105	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	124
VIIIb	$M_{Lx} = +0.001 q l^2 X$	21	26	31	36	40	43	46	48	51	53	58	56	57	58	59	60
	$M_{Ly} = +0.001 q l^2 X$	26	27	28	28	27	26	28	25	23	21	21	20	20	19	19	18
IX	$M_{Lx} = +0.001 q l^2 X$	88	68	74	82	89	94	99	103	108	110	114	116	117	118	119	120
	$M_{Ly} = +0.001 q l^2 X$	60	68	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	79
X	$M_{Lx} = +0.001 q l^2 X$	26	29	32	38	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42
	$M_{Ly} = +0.001 q l^2 X$	21	20	19	18	17	18	14	13	12	11	11	10	10	10	10	8
XI	$M_{Lx} = +0.001 q l^2 X$	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83
	$M_{Ly} = +0.001 q l^2 X$	88	87	87	87	88	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87
Keterangan:		<ul style="list-style-type: none"> - Tutsiah bebas - Tutsiah panch 															

(PBI-1971 tabel 13.3.1)

Perhitungan tebal pada pelat:

- Menghitung bentang bersih sumbu panjang dan sumbu pendek.

$$l_n = l_y - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

$$s_n = l_x - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

- Menghitung rasio l_n dan s_n

$$\beta = \frac{l_n}{s_n}$$

- Menghitung lebar efektif pelat.

Pada balok T:

$$b_e = b_w + 2h_w$$

$$b_e = b_w + 8h_f$$

Pada balok L:

$$b_e = b_w + h_w$$

$$b_e = b_w + 4h_f$$

(SNI 2847–2013, Pasal 13.2.2)

b_e diambil nilai terkecil dari persamaan diatas.

- Menghitung faktor modifikasi k .

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{hf}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{h}\right) + 4 \left(\frac{hf}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{hf}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{hf}{h}\right)}$$

(Wang, C. Salmon hal. 131 pers.16.4.2b)

- Menghitung momen inersia balok dan penampang pelat.

$$I_b = k x \frac{b_w x h^3}{12}$$

$$I_p = \frac{b_p x h f^3}{12}$$

- Menghitung rasio kekakuan balok terhadap pelat.

$$\alpha_f = \frac{E_{cb} x I_b}{E_{cp} x I_p}$$

- Menghitung rata-rata α_f dari balok-balok yang mengapit pelat.

$$\alpha_{fm} = \frac{\alpha_{f_1} + \alpha_{f_2} + \dots + \alpha_{f_n}}{n}$$

- Menghitung tebal pelat berdasarkan pada bab 2.3.3.

Tebal pelat minimum tidak boleh kurang dari nilai berikut:

- Tanpa penebalan > 125 mm ;
- Dengan penebalan > 100 mm.

(SNI 2847–2013, Pasal 9.5.3.2)

3.3. Perhitungan Pembebanan

3.3.1. Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung itu.

1. Beban mati pada pelat lantai:
 - Berat sendiri pelat
 - Beban spesi dan keramik
 - Beban plafond dan rangka
 - Beban *Mechanical electrical*
 - Beban *plumbing*
2. Beban mati pada pelat atap:
 - Berat sendiri pelat
 - Beban lapisan penutup atap kedap air (*waterproofing*)
 - Beban plafond dan rangka
 - Beban *Mechanical electrical*
3. Beban mati pada balok:
 - Berat sendiri balok
 - Berat dinding setengah bata
 - Beban mati pelat atap/pelat lantai
4. Beban mati pada pelat tangga dan bordes:
 - Berat sendiri pelat
 - Beban spesi dan keramik
 - Berat railing

3.3.2. Beban Hidup

Berdasarkan SNI 1727-2013 beban hidup pada bangunan rumah sakit yaitu:

- Ruang operasi dan laboratorium = 2,87 kN/m²

- Ruang pasien $= 1,92 \text{ kN/m}^2$
- Koridor diatas lantai pertama $= 3,83 \text{ kN/m}^2$
- Tangga dan jalan keluar $= 4,79 \text{ kN/m}^2$

3.3.3. Beban Angin

Beban angin direncanakan dengan mengacu kepada peraturan Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013).

3.3.4. Beban Hujan

Menurut **SNI 1727-2013 pasal 8.3** setiap bagian dari suatu atap harus dirancang mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul apabila sistem drainase primer untuk bagian tersebut tertutup ditambah dengan beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air diatas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran rencananya.

$$R = 0,0098 (d_s + d_h)$$

(SNI 1727-2013 pasal 8.3)

Dengan,

R = beban air hujan pada atap yang tidak melendut, dalam satuan kN/m^2 . Apabila istilah atap yang tidak melendut digunakan, lendutan dari beban (termasuk beban mati) tidak perlu diperhitungkan ketika menentukan jumlah air hujan pada atap.

d_s = kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder apabila sistem drainase primer tertutup (tinggi statis), dalam satuan mm.

d_h = tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut di atas lubang masuk sistem drainase

sekunder pada aliran air rencana (tinggi hidrolik), dalam satuan mm.

3.3.5. Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

Dalam perencanaan beban gempa pada gedung Rumah Sakit Ibu dan Anak ini ditentukan berdasarkan dimensi bangunan dan hitungan yang terdapat pada peraturan Gempa SNI 1726 – 2012 dengan metode statik ekuivalen.

- a. Untuk perhitungan beban gempa digunakan data tanah SPT kemudian dilakukan perhitungan nilai SPT rata-rata (N_{SPT}) sesuai SNI 1726-2012

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{N_i}}$$

(SNI 1726-2012 pasal 5.4.2)

- b. Dari nilai N_{SPT} dapat ditentukan Kelas Situs Tanah dengan tabel 2.2.1 berikut sesuai SNI 1726:2012

Tabel 3.2. Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{eq}	$\bar{\sigma}_v$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40 \%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25 \text{ kPa}$		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3 \text{ m}$) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5 \text{ m}$ dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35 \text{ m}$ dengan $\bar{s}_u < 50 \text{ kPa}$		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

(SNI 1726-2012 pasal 5.3 tabel 3)

- c. Menentukan kategori risiko dan faktor keutamaan gempa I_c sesuai dengan SNI 1726-2012.

Tabel 3.3. Kategori Resiko untuk Bangunan Gedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(SNI 1726:2012 pasal 4.1.2 tabel 1)

Tabel 3.4. Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(SNI 1726:2012 pasal 4.1.2 tabel 2)

- d. Mencari nilai S_s dan S_1 berdasarkan peta hazzard gempa Indonesia 2010 (500 tahun). Kemudian menentukan nilai Koefisien Situs Periode 0,2 detik (F_a) dan Koefisien Situs Periode 1 detik berdasarkan SNI Gempa 1726-2012.

Tabel 3.5. Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

(SNI 1726-2012 pasal 6.2 tabel 4)

Tabel 3.6. Koefisien Situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

(SNI 1726-2012 pasal 6.2 tabel 5)

- e. Menentukan Parameter Respons Spektral periode 0,2 detik dan 1 detik dengan rumus :

$$S_{MS} = F_a S_s \text{ (periode 0,2 detik)}$$

$$S_{MI} = F_v S_I \text{ (periode 1 detik)}$$

(SNI 1726-2012 pasal 6.2)

- f. Menghitung parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik S_{DI} ditentukan dengan rumus :

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS}$$

$$S_{DI} = 2/3 S_{MI}$$

(SNI 1726-2012 pasal 6.3)

- g. Menentukan Periode fundamental pendekatan (T_a)

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

(SNI 1726-2012 pasal 7.8.2.1)

Dimana nilai C_t dan x diambil dari tabel berikut.

Tabel 3.7. Nilai Parameter Periode Pendekatan

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

(SNI 1726-2012 pasal 7.8.2.1 tabel 15)

h. Menentukan nilai koefisien modifikasi respons (R)**Tabel 3.8. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa**

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_u (m) ^c					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e	
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB	
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30	
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30	
C. Sistem rangka pemikul momen									
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB	
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI	
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^{h,i}	TI ^h	TI ⁱ	
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ	
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB	
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI	
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI	

(SNI 1726-2012 pasal 7.2.2 tabel 9)

h. Menghitung koefisien respons seismik (C_s)

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{T_e}\right)}$$

(SNI 1726-2012 pasal 7.8.1.1)

- i. Menghitung berat seismik efektif total struktur (W).
- j. Menghitung gaya geser dasar seismik (V) dengan perumusan sesuai SNI 1726-2012.

$$V = C_s W$$

(SNI 1726-2012 pasal 7.8.1)

Keterangan :

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif struktur

- k. Menghitung distribusi vertikal gaya gempa

$$F_x = \frac{W_x \times h_x^k}{\sum_{x=1}^n W_x \times h_x^k} \times V$$

(SNI 1726-2012 pasal 7.8.3)

Keterangan :

F_i = Distribusi vertikal gaya gempa

W_x = Bagian berat seismik efektif total struktur yang dikenakan pada tingkat x

h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat x

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:

$T \leq 0,5$ detik ; maka $k = 1$

$0,5 \text{ detik} \leq T \leq 2,5 \text{ detik}$; maka $k = 2$ atau diinterpolasi linier antara 1 dan 2

$T \geq 2,5$ detik ; maka $k = 2$

- l. Menghitung beban gempa per kolom.

$$F_{ix} = \frac{F_i}{n \text{ kolom}} + \frac{Mx \cdot x}{\sum(x^2)}$$

$$F_{iy} = \frac{F_i}{n \text{ kolom}} + \frac{My \cdot y}{\sum(y^2)}$$

3.4. Perhitungan Struktur

2.4.1. Perhitungan Penulangan Struktur Sekunder (pelat dan tangga)

3.4.1.1. Pelat

Perhitungan penulangan plat berdasarkan peraturan SNI 03-2847-2013, yaitu :

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

(SNI 2847-2013 pasal 10.5.1)

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$$

(SNI 2847-2013 lampiran B.8.4.2)

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{balance}$$

(SNI 2847-2013 lampiran B.10.3.3)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

(Wang, C. Salmon hal. 55 pers.3.8.4.a)

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

(Wang, C. Salmon hal. 55 pers.3.8.4.a)

- Kontrol $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$

Jika $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, maka ρ_{perlu} dinaikan 30 %. Sehingga ;

$$\rho_{pakai} = 1,3 \times \rho_{perlu}$$

(SNI 2847-2013 pasal 10.5.3)

- Hitung as tulangan yang dibutuhkan

$$As = \rho_{pakai} \times b \times d$$

(Wang, C. Salmon jilid 1 hal. 55 pers.3.5.1)

- Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{max} \leq 2 \times h$$

(SNI 2847-2013 pasal 13.3.2)

- Kontrol perlu tulangan susut + suhu

$$\rho_{susut} = 0,0018 \times b \times h$$

(SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1)

- Kontrol jarak spasi tulangan susut

$$S_{max} \leq 5 \times h$$

(SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.2)

- Kontrol lendutan dan retak pelat

Momen Inersia penampang retak :

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot y^3 + n \cdot As \cdot (d - y)^3$$

(SNI 2847-2013 pasal 14.8.3)

Modulus keruntuhan beton :

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f_c'}$$

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.2.3)

Momen retak :

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t}$$

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.2.3)

Momen Inersia efektif :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right) \cdot I_{cr}$$

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.2.3)

Lendutan :

$$\delta = \frac{5 \cdot Q_u \cdot L_n^2}{348 \cdot E_c \cdot I_e}$$

Tegangan izin pada tulangan :

$$f_s = 0,6f_y$$

Luas efektif beton tarik :

$$A = 2 \cdot d_c \cdot s_{tul}$$

Nilai lebar retak

$$\omega = 11 \cdot 10^{-6} \beta f_s \sqrt[3]{d_c \cdot A_e}$$

3.4.1.2. Tangga

Merencanakan dimensi injakan dengan persyaratan:

$$60 \leq (2t-i) \leq 65 \dots\dots\dots (\text{cm})$$

Keterangan :

$$t = \text{tanjakan} \leq 25 \text{ cm}$$

$$i = \text{injakan dengan } 25 \text{ cm} \leq i \leq 40 \text{ cm}$$

Syarat sudut kemiringan tangga:

$$25^0 \leq \alpha \leq 40^0$$

Penentuan tulangan tangga dan tulangan bordes menggunakan perhitungan sesuai dengan prinsip perencanaan penulangan pelat.

3.4.2. Perhitungan Penulangan Struktur Primer (balok dan kolom)

3.4.2.1. Balok

- Perhitungan Penulangan Lentur
Momen tumpuan (M_u) dan momen lapangan (M_{uI}) pada balok diperoleh dari output program SAP 2000.

a. Tulangan tunggal

$$- Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

(SNI 2847-2013 pasal 22.5.1)

- $d = bw - decking - \phi_{sengkang} - \frac{1}{2}\phi_{tul. utama}$
- Penentuan tulangan lentur balok menggunakan perhitungan sesuai dengan prinsip perencanaan penulangan pelat.

Kontrol tulangan :

- $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$; menggunakan ρ
- $\rho_{min} > \rho$: maka ρ dinaikan 30 %. Sehingga ;
 $\rho_{pakai} = 1,3 \times \rho$
- $As = \rho \cdot b \cdot d$
- $n = \frac{As}{As_{Pakai}}$

Cek kondisi :

- Bila $\rho > \rho_{max}$, maka dimensi penampang perlu diperbesar
- Bila $\rho < \rho_{min}$, maka dimensi penampang terlalu besar

b. Tulangan rangkap

- Hitung $x \leq 0,75 x_b$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d$$

- $Asc = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x}{f_y}$

- $Mnc = Asc \cdot F_y$

- Hitung $Mn - Mnc$

$Mn - Mnc \leq 0$ tidak perlu tulangan tekan

$Mn - Mnc \geq 0$ perlu tulangan tekan

Bila memerlukan tulangan tekan maka:

- $Cs' = T2 = \frac{Mn - Mnc}{d - d''}$

Kontrol tulangan tekan leleh :

- $fs' = \left(1 - \frac{d''}{x}\right) \cdot 600 \geq f_y$; leleh $fs' = f_y$

- $fs' = \left(1 - \frac{d''}{x}\right) \cdot 600 < f_y$; tidak leleh $fs' = fs'$

- Tulangan tekan perlu (As') = $\frac{Cs'}{(fs' - 0,85 \cdot f_c')}$

- Tulangan Tarik tambahan (Ass) = $\frac{T2}{f_y}$

Tulangan perlu :

- $As = Asc + Ass$

- $As' = As'$

Kontrol kekuatan :

- $\phi Mn \geq Mu$

- Perhitungan Penulangan Geser

Gaya geser (V_u) pada balok diperoleh dari output program SAP 2000.

- Kontrol dimensi.

$$V_{U \max} \leq \phi \left(\frac{5}{6} \right) \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \rightarrow \text{dimensi OK}$$

$$V_{U \max} > \phi \left(\frac{5}{6} \right) \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \rightarrow \text{dimensi diperbesar}$$

- Menghitung kuat geser sumbangan beton (V_c).

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

(SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.1)

- Menghitung V_s minimum dan V_s maksimum.

$$V_{s \min} = \frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{s \max} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

(SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.3)

- Menentukan kondisi sesuai dengan syarat perencanaan.

Syarat perencanaan:

1. Kondisi 1

$$V_u \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c$$

Maka, tidak perlu tulangan geser.

2. Kondisi 2

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot V_c$$

Maka, perlu tulangan geser minimum.

Beban geser minimum yang dipikul :

$$V_{s \min} = \frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d$$

$$A_{vmin} = \frac{1}{3} \frac{b_w \cdot S}{f_y}$$

$$S_{maks} \leq \frac{d}{2} \leq 60 \text{ cm}$$

3. Kondisi 3

$$\phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{s \min})$$

Maka, perlu tulangan geser minimum.

Beban geser yang harus dipikul :

$$V_{s \min} = \frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d, \text{ dan}$$

$$V_{s \max} = \frac{2}{3} \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d$$

$$A_{vmin} = \frac{1}{3} \frac{b_w \cdot S}{f_y}$$

$$S_{maks} \leq \frac{d}{2} \leq 60 \text{ cm}$$

4. Kondisi 4

$$\phi \cdot (V_c + V_{s \min}) \leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d)$$

Maka, perlu tulangan geser.

Beban geser yang harus dipikul : $\phi \cdot V_{s \text{ perlu}} =$

$$V_u - \phi \cdot V_c$$

$$A_{vperlu} = \frac{V_{s \cdot S}}{f_y \cdot d}$$

$$S_{maks} \leq \frac{d}{2} \leq 60 \text{ cm}$$

5. Kondisi 5

$$\phi \cdot (V_c + \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d) \leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d)$$

Maka, perlu tulangan geser.

Beban geser yang harus dipikul : $\phi \cdot V_s \text{ perlu} = V_u - \phi \cdot V_c$

$$A_{v\text{perlu}} = \frac{V_s \cdot s}{f_y \cdot d}$$

$$S_{maks} \leq \frac{d}{4} \leq 30 \text{ cm}$$

- Menghitung beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser (V_s perlu), luas penampang tulangan geser (A_v perlu) dan jarak spasi tulangan geser (s) sesuai dengan kondisi yang memenuhi.
- Merencanakan jumlah kaki (n) tulangan geser dan menghitung luas tulangan geser.

$$A_v = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot n$$

Syarat :

$$A_v > A_{v \text{ perlu}}$$

- Menghitung gaya geser perlawanan tulangan geser.

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

- Perhitungan Penulangan Torsi

Gaya torsi (T_u) pada balok diperoleh dari output program SAP 2000.

- Menghitung luas dan keliling penampang.

$$A_{cp} = b \times h$$

$$P_{cp} = 2(b+h)$$

- Menghitung luas dan keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang.

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser})$$

$$P_h = 2 \cdot ((b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}))$$

- Menghitung torsi nominal.

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

(SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.5)

- Menghitung kuat torsi penampang.

$$T = \frac{\phi \sqrt{f'c} A_{cp}^2}{12 P_{cp}}$$

(SNI 2847-2013 pasal 11.5.1)

Syarat :

$T_u \leq T$ maka, tulangan torsi bisa diabaikan

$T_u \geq T$ maka, perlu tulangan torsi (T_s)

- Jika memerlukan tulangan torsi:
 - Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{b x d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot Ph}{1,7 x A_o h^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{\frac{1}{6} \sqrt{f'c} x b x d}{b x d} + \left(\frac{2 \sqrt{f'c}}{3} \right) \right)$$

(SNI 2847-2013 pasal 11.5.3)

Tulangan torsi yang diperlukan untuk lentur:

$$A_\ell = \frac{A_t}{s} Ph \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

(SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7)

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dihitung dengan:

$$T_n = \frac{2 x A_o x A_t x f_{yt}}{s} \cot \theta$$

(SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.6)

Maka,

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2x Aox fyt x cot \theta}$$

Dimana, $Ao = 0,85 Aoh$

Luas tulangan torsi minimum:

$$A\ell_{min} = \frac{5\sqrt{f'c}Acp}{12fy} - \left(\frac{At}{s}\right)Ph\left(\frac{fy}{fy}\right)$$

(SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.5.3)

Kontrol tulangan torsi:

$A\ell \leq A\ell_{min}$ maka menggunakan $A\ell_{min}$

$A\ell \geq A\ell_{min}$ maka menggunakan $A\ell$

3.4.2.2. Kolom

- Perhitungan Penulangan Lentur

Menghitung nilai β_d

$$\beta_d = \frac{P_U(\text{akibat beban gravitasi})}{P_U(\text{akibat beban gempa})}$$

Angka kekakuan kolom

$$EI = \frac{(0,2 \cdot Ec \cdot Ig) + (Ec \cdot Ig)}{1 + \beta_d}$$

atau

$$EI = \frac{0,4 \cdot Ec \cdot Ig}{1 + \beta_d}; \text{ pilih nilai terbesar}$$

(SNI 2847-2013 pasal 10.10.6.1)

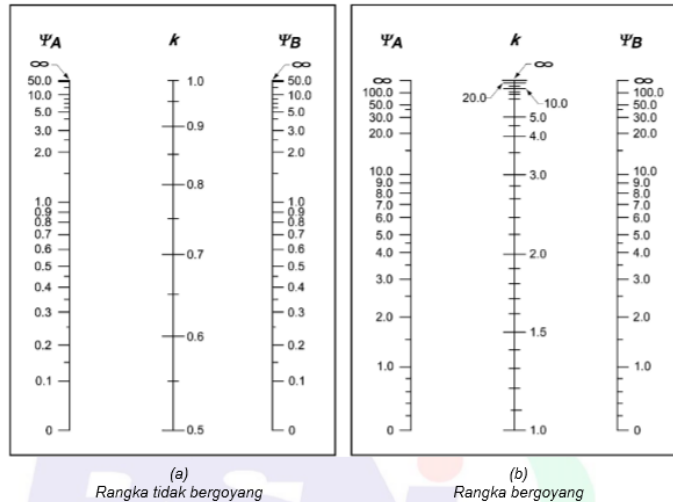
Faktor kekangan ujung:

$$\Psi = \frac{\Sigma \left(\frac{EI}{\lambda}\right)_{kolom}}{\Sigma \left(\frac{EI}{\lambda}\right)_{balok}}$$

(SNI 2847-2013 pasal 10.10.7.2)

Hitung faktor panjang efektif (k):

Faktor panjang efektif diambil berdasarkan tabel nomogram pada SNI 2847-2013 pasal 10.10.7.2.



Gambar 3.3. Faktor Panjang Efektif (k)

Menghitung jari-jari inersia:

$$r = 0,2887h$$

- Kontrol Kelangsingan Kolom

Pengaruh kelangsingan boleh diabaikan jika:

- Untuk rangka portal tak bergoyang:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40$$

- Untuk rangka portal bergoyang:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 22$$

(SNI 2847-2013 pasal 10.10.1)

- Pembesaran momen
- Pembesaran momen tidak bergoyang

$$M_c = \delta_{ns} M_2$$

$$\delta_{ns} = \frac{Cm}{1 - \frac{Pu}{0,75 \cdot Pc}} \geq 1$$

$$Pc = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot lu)^2}$$

(SNI 2847-2013 pasal 10.10.6)

Momen terfaktor M2, dalam persamaan tidak boleh diambil lebih kecil dari :

$$M_{2min} = Pu(15,24 + 0,003 h)$$

(SNI 2847-2013 pasal 10.10.6.5)

- Pembesaran momen bergoyang

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum Pu}{0,75 \cdot \sum Pc}} \geq 1$$

(SNI 2847-2013 pasal 10.10.7)

Momen M1 dan M2 di ujung komponen struktur individu harus diambil sebesar:

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

(SNI 2847-2013 pasal 10.10.7)

- Cek Kondisi Balance
Kondisi: $\epsilon_s = \epsilon_y$

$$\begin{aligned}
 f_s &= f_y \\
 Xb &= \frac{600}{600 + f_y} d \\
 ab &= \beta_1 \cdot Xb \\
 C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 f_c') \\
 C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot x_b \\
 T &= A_s \cdot f_y \\
 P_b &= C_c' + C_s' - T \\
 M_b &= C_c' (d - d'' - \frac{1}{2} ab) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 e_b &= M_b / P_b
 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi :

$e_{min} < e_{perlu} < e_{balance}$ (Tekan menentukan)

$e_{min} < e_{perlu} > e_{balance}$ (Tarik menentukan)

- Kondisi Tekan Menentukan

Kondisi : $e < e_b$

$$P > P_b$$

$$\epsilon_s < \epsilon_y$$

$$f_s < f_y$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s$$

$$C_s' = A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$C_c' = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot x$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$P = C_c' + C_s' - T$$

$$M_n = C_c' (d - d'' - \frac{1}{2} a) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

- Kondisi Tarik Menentukan

Kondisi : $e > e_b$

$$P < P_b$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_y$$

$$f_s = f_y$$

$$\varepsilon_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 0,003$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 600$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s$$

$$C_s' = A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$C_c' = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$P = C_c' + C_s' - T$$

$$M_n = C_c' \cdot (d - d'' - \frac{1}{2} a) + C_s' \cdot (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

- Kontrol Kemampuan Kolom

Kontrol kemampuan kolom dilakukan dengan *software* PCACOL.

- Perhitungan Penulangan Geser

Kontrol tulangan geser

$$\phi V_n \geq V_u$$

(SNI 2847-2013 pasal 11.1.1)

dimana :

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yI} \times d}{s}$$

(SNI 2847-2013 pasal 11.1.1)

Untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial,

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \lambda \sqrt{f'c'} b_w d$$

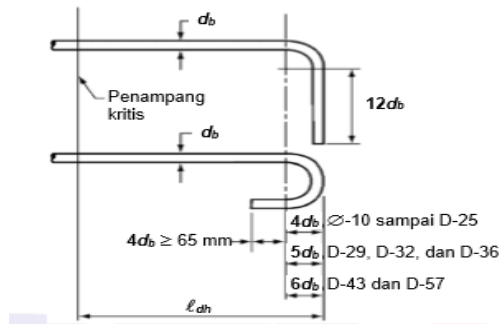
(SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.2)

Untuk rumus penulangan geser kolom sama seperti penulangan geser balok.

3.4.3. Perhitungan Panjang Penyaluran

- Kait standar

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri dengan kait standar.



Gambar 3.4. Detail Batang Tulangan Berkait Untuk Penyaluran Kait Standar

- Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik.

Untuk tulangan dengan diameter ≤ 19 mm

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'c}} \right) d_b \geq 300 \text{ mm}$$

Untuk tulangan dengan diameter ≥ 22 mm

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'c}} \right) d_b \geq 300 \text{ mm}$$

- Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan.

Diambil nilai terbesar dari:

$$l_{dc} = \frac{0,24f_y}{\lambda\sqrt{f'_c}} d_b \quad \text{dan} \quad l_{dc} = 0,043f_y d_b$$

(SNI 2847-2013 pasal 12.3.2)

$$l_{dc} \geq 200 \text{ mm}$$

(SNI 2847-2013 pasal 12.3.1)

l_{dc} diizinkan untuk dikalikan faktor modifikasi:

- Untuk tulangan lebih

$$\text{nilai faktor} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}}$$

- Untuk tulangan yang dilingkupi:

- tulangan spiral dengan diameter $\geq \phi 6\text{mm}$ dan spasi $\leq 100\text{mm}$

- didalam sengkang D13 dan spasi $\leq 100\text{mm}$

$$\text{nilai faktor} = 0,75$$

(SNI 2847-2013 pasal 12.3.3)

- Penyaluran kait standar dalam kondisi tarik.

$$l_{dh} = \frac{0,24\Psi_{ef}f_y}{\lambda\sqrt{f'_c}} d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

(SNI 2847-2013 pasal 12.5.2)

l_{dh} diizinkan untuk dikalikan faktor modifikasi:

- Untuk kait batang tulangan $\leq D36$ dengan selimut samping $\geq 65 \text{ mm}$.

Untuk kait 90° dengan selimut pada perpanjangan batang tulangan sesudah kait $\geq 50 \text{ mm}$.

$$\text{nilai faktor} = 0,7$$

- Untuk kait 90° dari batang tulangan $\leq D36$ baik yang dilingkupi dalam pengikat atau sengkang tegak lurus terhadap batang tulangan dengan spasi $\leq 3d_b$ sepanjang

l_{dh} , atau dilingkupi dalam pengikat atau sengkang paralel terhadap batang dengan spasi $\leq 3d_b$ sepanjang panjang perpanjangan ekor kait ditambah bengkokan.

Untuk kait 180° dari batang tulangan $\leq D36$ yang dilingkupi dalam pengikat atau sengkang tegak lurus terhadap batang tulangan yang disalurkan dengan spasi $\leq 3d_b$ sepanjang l_{dh} .

nilai faktor = 0,8

- c. Pengangkuran atau penyaluran untuk f_y tidak secara khusus diperlukan, dan untuk tulangan lebih.

$$\text{nilai faktor} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{pasang}}}$$

(SNI 2847-2013 pasal 12.5.3)

3.5. Cek Syarat

a. Pelat

- Kontrol jarak spasi tulangan
- Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu
- Kontrol perlu tulangan susut dan suhu
- Kontrol lendutan

b. Balok

- Kontrol $M_n \text{ pasang} \geq M_n$ untuk penulangan lentur.
- Kontrol penulangan geser yang terdiri dari lima kondisi.

c. Kolom

- Kontrol momen yang terjadi $M_{\text{perlu}} \geq M_n$

3.6. Gambar Perencanaan

Gambar perencanaan meliputi :

a. Gambar arsitektur terdiri dari:

- Gambar tampak (depan, belakang, samping kiri dan samping kanan)

- Gambar denah bangunan
- b. Gambar struktur terdiri dari:
 - Potongan memanjang & melintang
 - Denah sloof dan pembalokan
 - Denah kolom
- c. Gambar penulangan terdiri dari:
 - Penulangan pelat
 - Penulangan tangga dan bordes
 - Penulangan balok
 - Penulangan kolom
 - Penulangan sloof

3.7. Perhitungan volume pembesian

Volume pembesian dihitung agar mendapatkan jumlah efektif dalam merencanakan jumlah kebutuhan besi yang digunakan sebagai tulangan pada elemen-elemen bangunan gedung seperti pada penulangan balok, kolom, pelat, dan tangga. Dalam hal ini yang dihitung ialah jumlah lonjor, total berat besi dan total seluruh volume besi yang dibutuhkan sehingga jumlah kebutuhan besi yang digunakan tidak berlebihan dan pas. Pada saat pelaksanaan mandor atau pelaksana proyek tau berapa besi yang dibutuhkan dan dana proyek dapat dikalkulasi dengan tepat dan efisien.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, perhitungan volume kebutuhan pembesian meliputi perhitungan kebutuhan besi untuk 2 portal yang ditinjau, yaitu 1 portal memanjang dan 1 portal melintang. Yang kemudian hasil perhitungan akan disajikan dalam bentuk jumlah kebutuhan lonjor besi tulangan dan berat besi tulangan yang diperlukan.

Total berat besi yang diperlukan dihitung berdasarkan tabel berat besi per meter yang selanjutnya dikalikan dengan panjang kebutuhan besi.

Tabel 3.9. Berat Besi Tulangan

Dimensi dan Berat Tulangan Baja Standar Industri Indonesia (SII 0136-80)				
Tulangan Baja		Diameter nominal (mm)	Luas nominal (cm ²)	Berat nominal (kg/m)
Polos	Deform			
P6	D6	6,00	0,283	0,222
P8	D8	8,00	0,503	0,395
P9	D9	9,00	0,635	0,499
P10	D10	10,00	0,785	0,617
P12	D12	12,00	1,131	0,888
P13	D13	13,00	1,327	1,040
P14	D14	14,00	1,540	1,210
P16	D16	16,00	2,011	1,580
P18	D18	18,00	2,545	2,000
P19	D19	19,00	2,835	2,230
P20	D20	20,00	3,142	2,470
P22	D22	22,00	3,801	2,980
P25	D25	25,00	4,909	3,850
P28	D28	28,00	6,157	4,830
	D29	29,00	6,605	5,190
P32	D32	32,00	8,043	6,310
	D36	36,00	10,179	7,990
	D40	40,00	12,565	9,870
	D50	50,00	19,635	15,400

3.8. Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini adalah metode pelaksanaan pekerjaan kolom beton bertulang dengan mutu beton 25 MPa dan teknik pengecoran cor ditempat (*Cast in-situ*). Kolom yang ditinjau adalah salah satu kolom dari

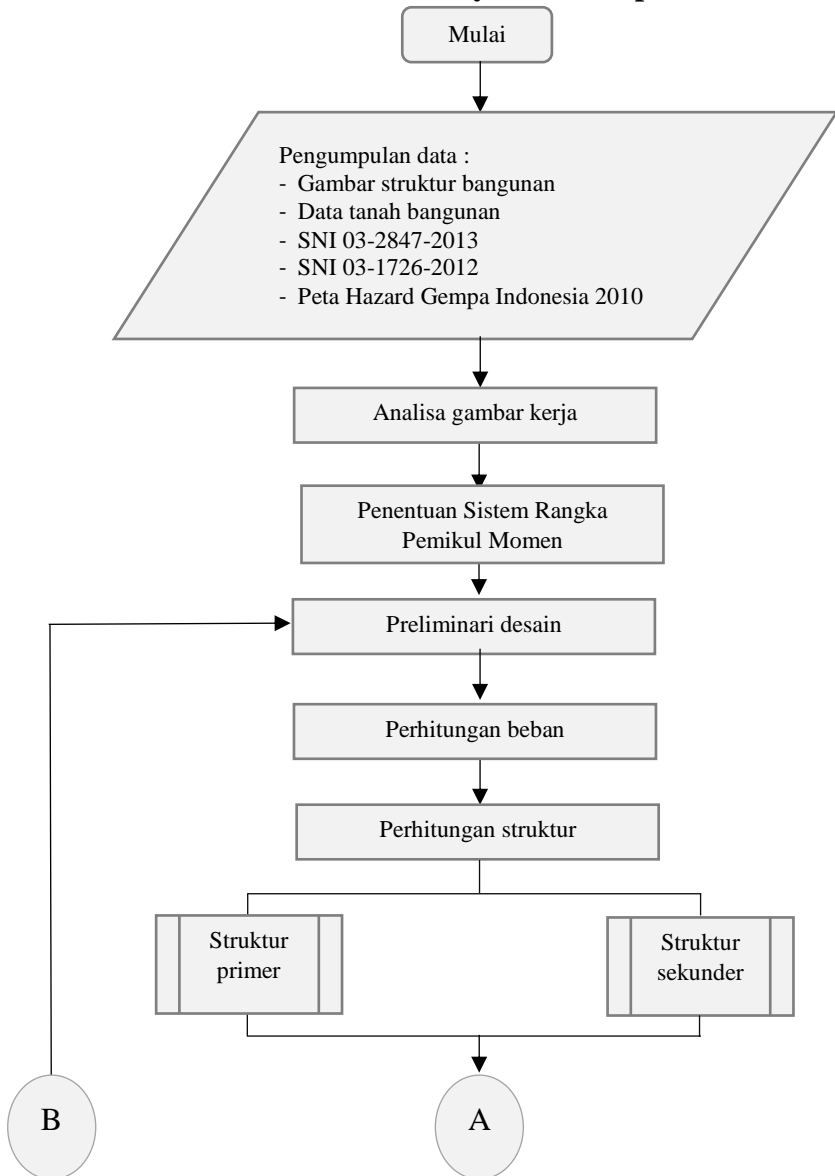
keseluruhan kolom struktur, yang akan ditentukan kemudian. Metode pelaksanaan meliputi tahapan pekerjaan kolom dari lantai terbawah hingga lantai teratas.

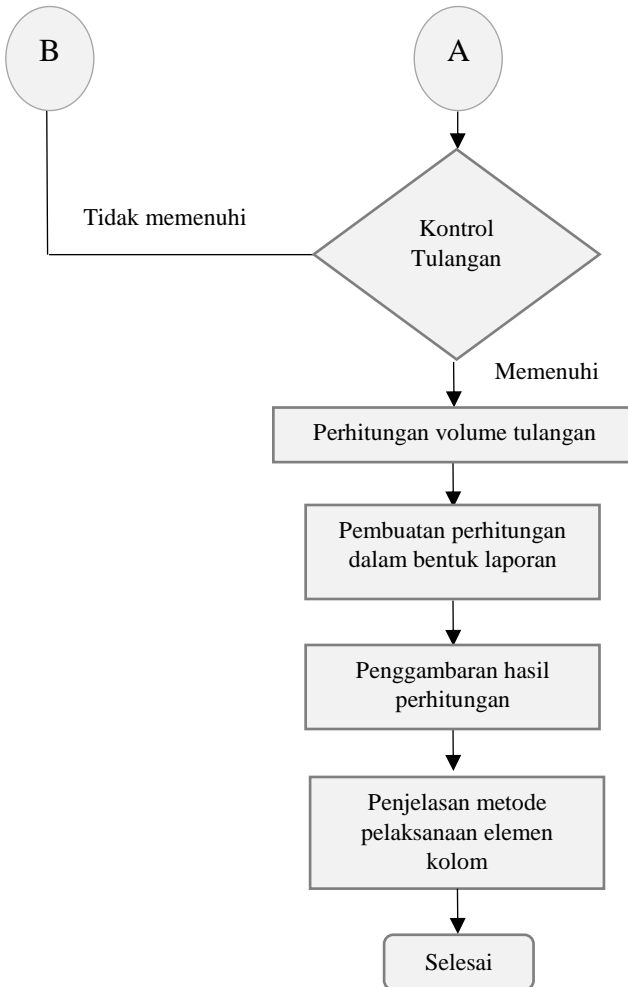
3.8. Flow Chart

Flow chart yang akan disajikan dalam laporan Tugas Akhir ini adalah meliputi :

- Proses penyusunan laporan
- Penentuan sistem struktur
- Perhitungan struktur sekunder
- Perhitungan struktur primer
- Perhitungan penulangan pelat
- Perhitungan penulangan tangga dan bordes
- Perhitungan penulangan torsi balok
- Perhitungan penulangan lentur balok
- Perhitungan penulangan geser balok
- Perhitungan penulangan lentur kolom
- Perhitungan penulangan geser kolom

3.8.1. Flow Chart Proses Penyusunan Laporan





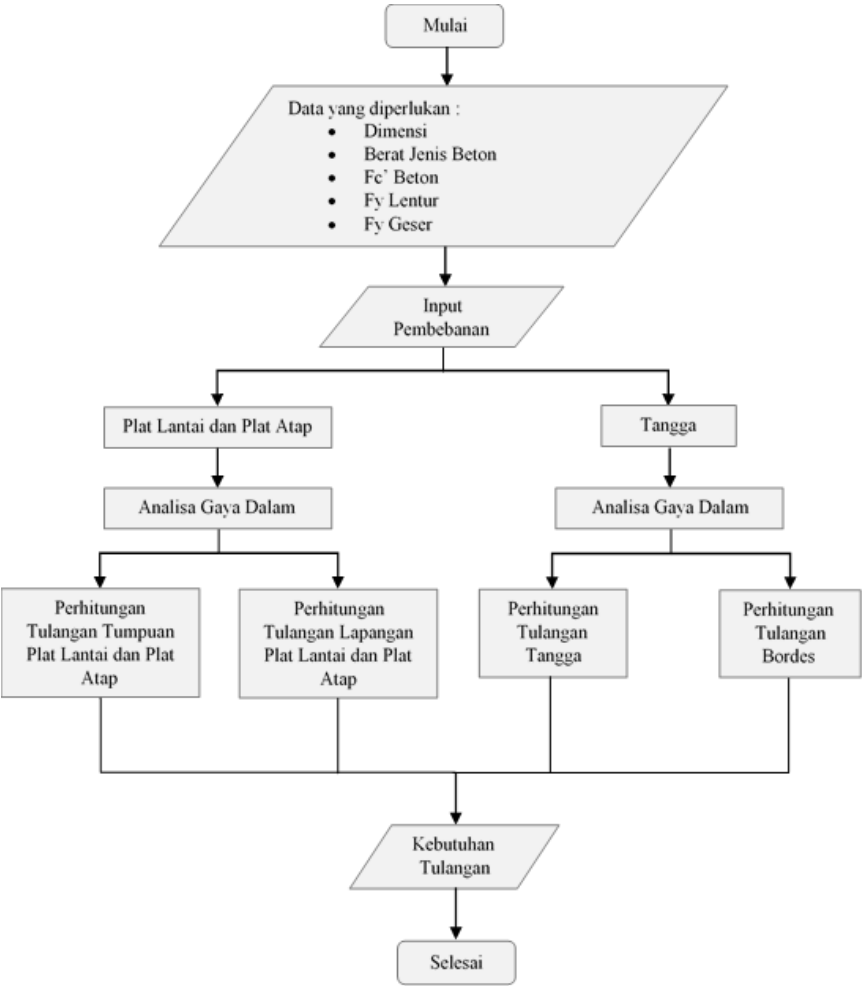
Gambar 3.5. Flow Chart Proses Penyusunan Laporan

3.8.2. Flow Chart Penentuan Sistem Struktur



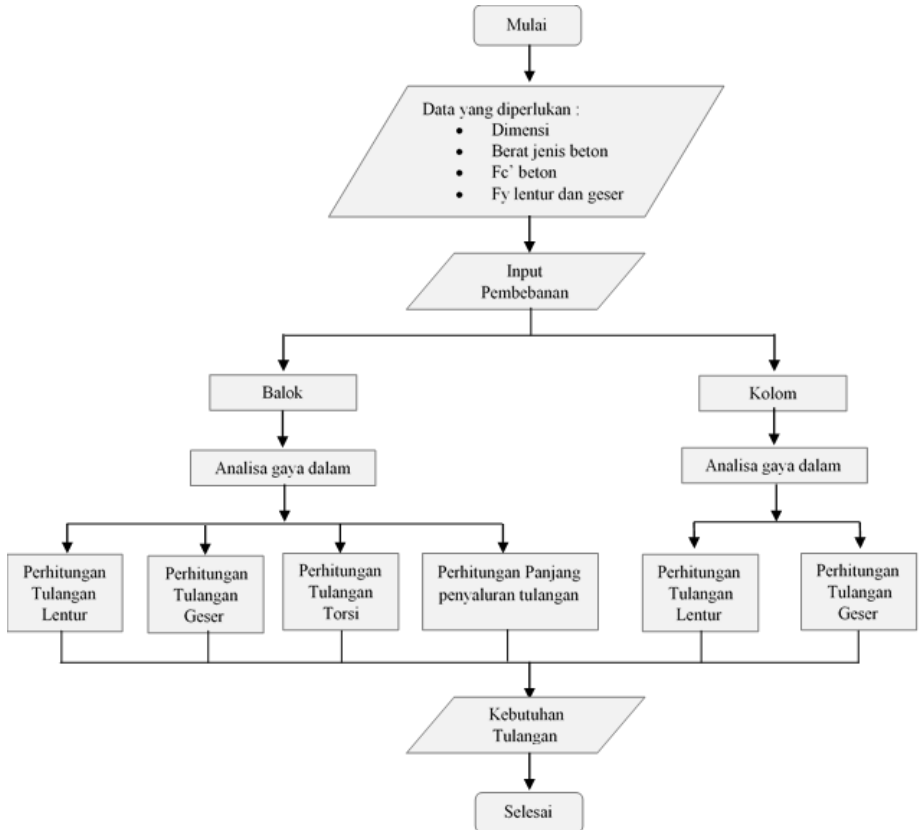
Gambar 3.6. Flow Chart Proses Perhitungan Struktur Sekunder

3.8.3. Flow Chart Perhitungan Struktur Sekunder



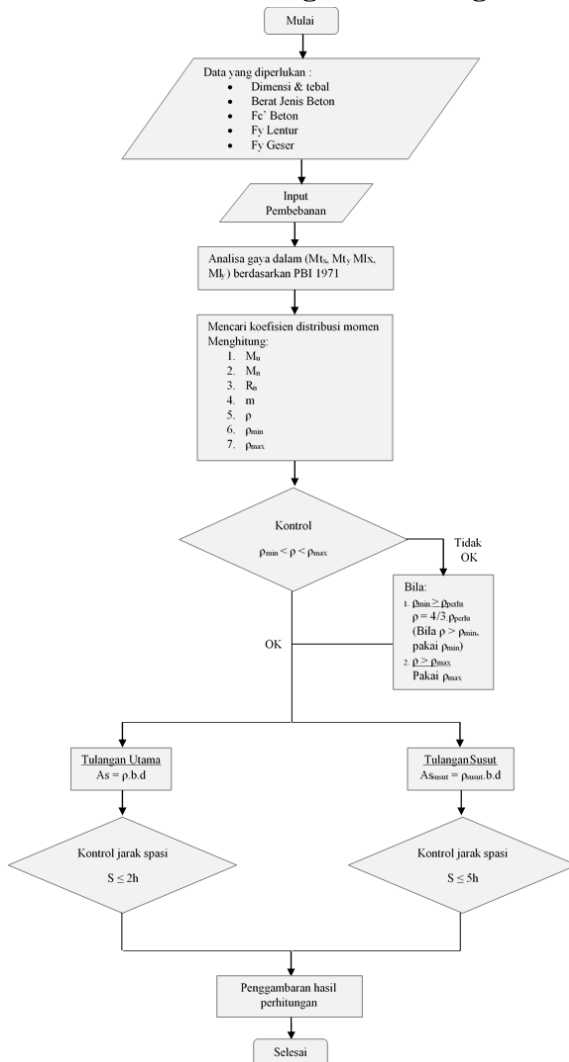
Gambar 3.7. Flow Chart Proses Perhitungan Struktur Sekunder

3.8.4. Flow Chart Perhitungan Struktur Primer



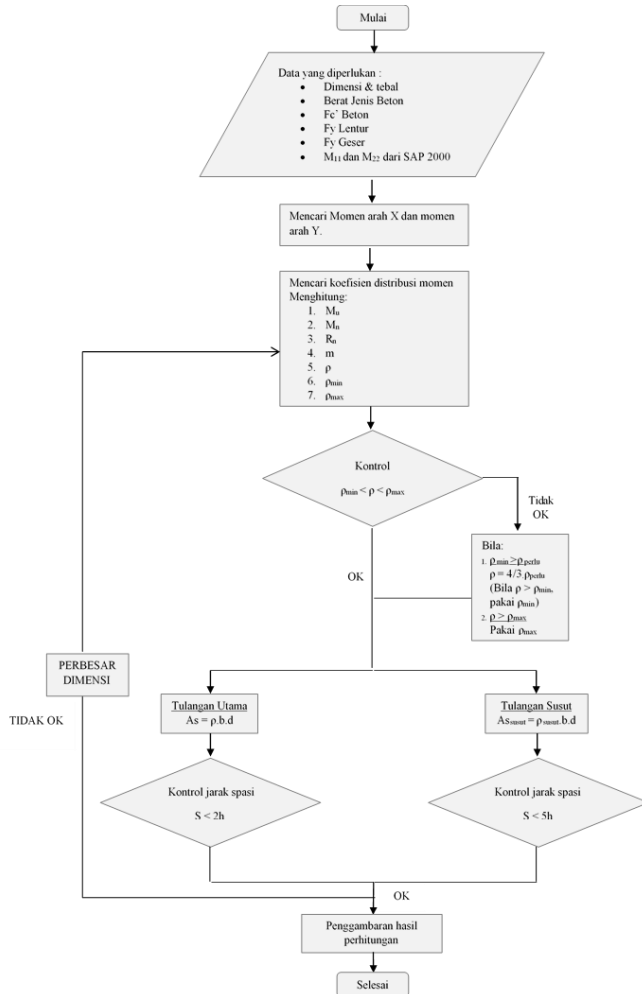
Gambar 3.8. Flow Chart Proses Perhitungan Struktur Primer

3.8.5. Flow Chart Perhitungan Penulangan Pelat



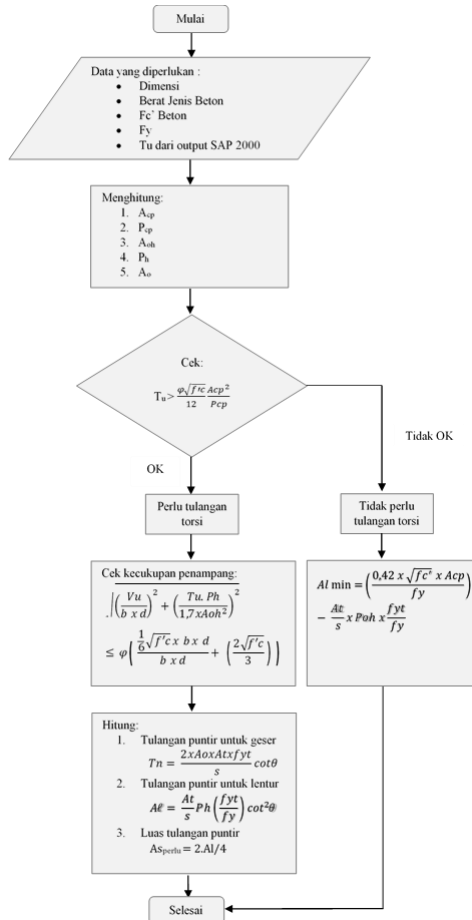
Gambar 3.9. Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Pelat

3.8.6. Flow Chart Perhitungan Penulangan Pelat Tangga dan Bordes



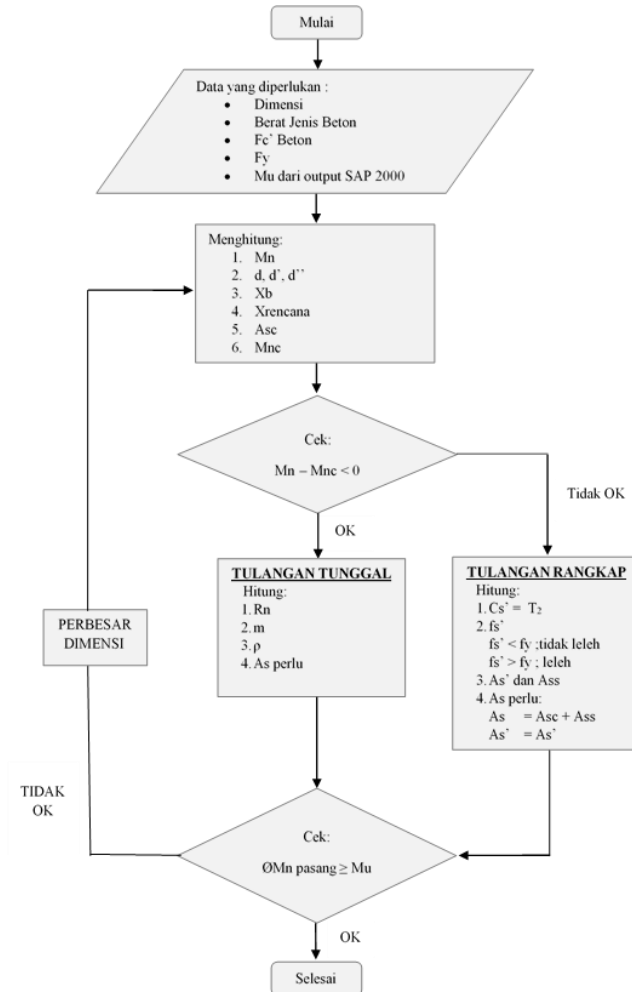
Gambar 3.10. Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Pelat Tangga dan Bordes

3.8.7. Flow Chart Perhitungan Penulangan Torsi Balok



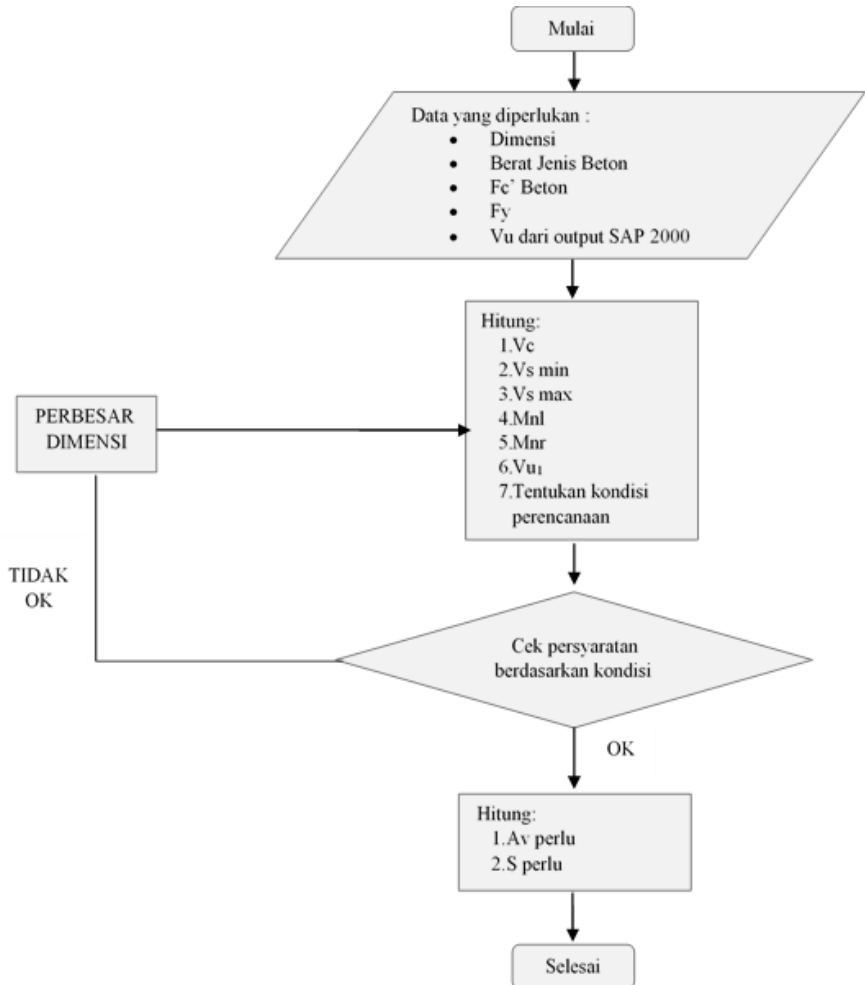
Gambar 3.11. Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Torsi Balok

3.8.8. Flow Chart Perhitungan Penulangan Lentur Balok



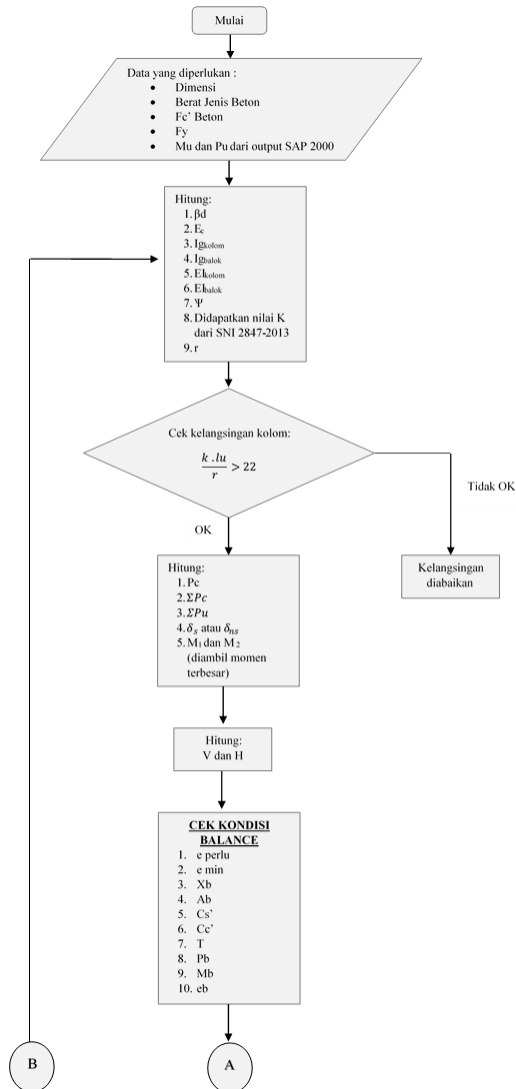
Gambar 3.12. Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Lentur Balok

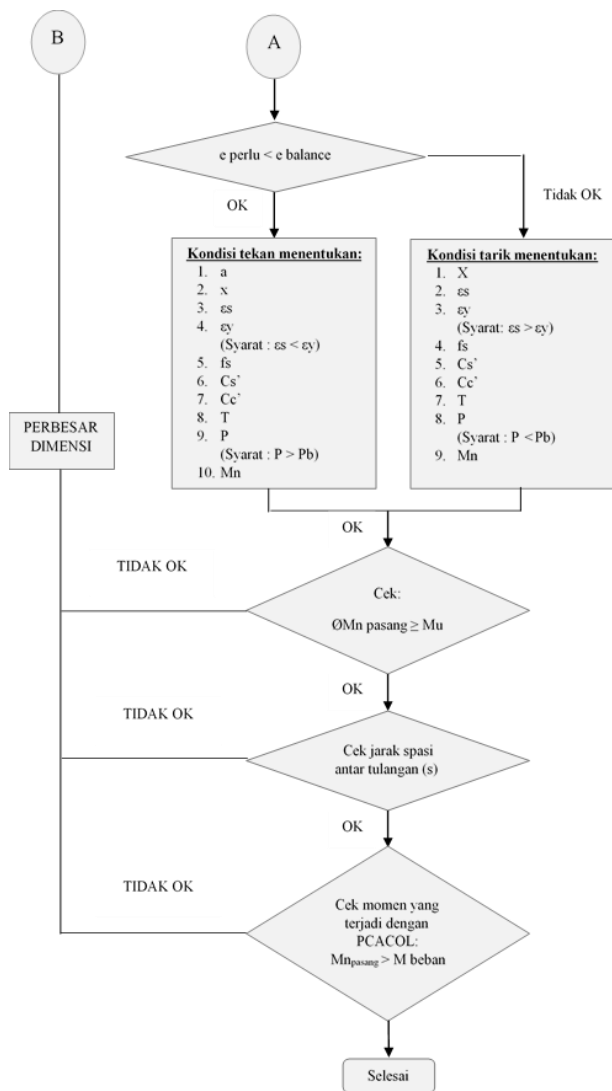
3.8.9. Flow Chart Perhitungan Penulangan Geser Balok



Gambar 3.13. Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Geser Balok

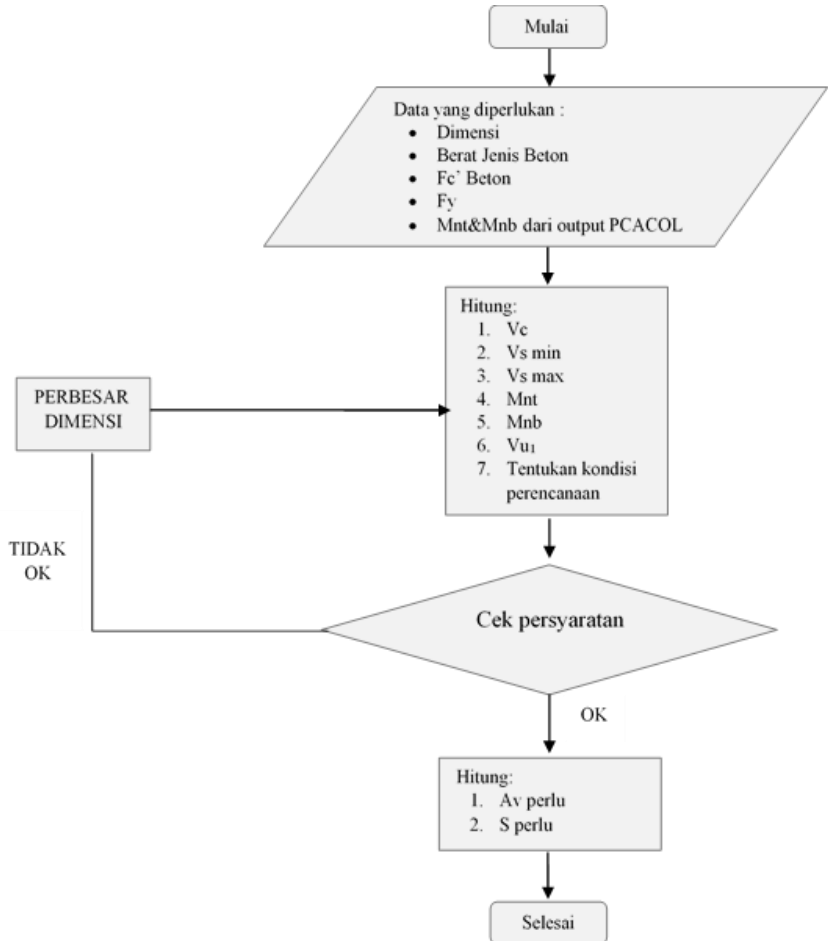
3.8.10. Flow Chart Perhitungan Penulangan Lentur Kolom





Gambar 3.14. Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Lentur Kolom

3.8.11. Flow Chart Perhitungan Penulangan Geser Balok



Gambar 3.15. Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Geser Kolom

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Penentuan Metode Sistem Struktur

Dalam menentukan metode sisten struktur untuk perhitungan struktur dalam perencanaan ini berdasarkan SNI 1726-2012 dan peta hazzard Indonesia 2010 dengan probabilitas terlampaui 10% dalam 500 tahun. Penentuan sistem struktur tergantung pada kategori desain seismik bangunan. Langkah-langkah penentuan sistem struktur adalah:

1. Klasifikasi situs

Tabel 4.1. Data SPT Tanah Bangunan

	di	Ni	di/Ni
	1,5	3	0,5
	1,5	4	0,375
	1,5	6	0,25
	1,5	10	0,15
	1,5	12	0,125
	1,5	34	0,04412
	1,5	36	0,04167
	1,5	64	0,02344
	1,5	63	0,02381
	1,5	65	0,02308
	1,5	65	0,02308
	1,5	69	0,02174
	1,5	66	0,02273
	1,5	63	0,02381
	1,5	65	0,02308
	1,5	66	0,02273
	1,5	65	0,02308
	1,5	66	0,02273
	1,5	63	0,02381
	1,5	68	0,02206
Jumlah	30		1,78494

Berdasarkan nilai SPT diatas didapatkan :

$$\bar{N} = \frac{\sum d}{\sum \bar{N}} = 16,8073$$

Berdasarkan Klasifikasi situs SNI 1726-2012, tanah pada lokasi proyek termasuk ke dalam **situs SD (Tanah Sedang)**.

2. Faktor keutamaan bangunan (I_e).

Kategori resiko dan faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 4.1.2 tabel 1 s/d tabel 2. Bangunan rumah sakit yang menjadi obyek pada tugas akhir ini termasuk kedalam **kategori resiko IV**.

Kategori resiko	Faktor keutamaan Gempa
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

3. Menentukan parameter pergerakan tanah.

a. Parameter percepatan gempa (S_s dan S_1).

Nilai S_s dan S_1 didapat berdasakan peta hazzard Gempa Indonesia 2010 dengan lokasi bangunan di kota Blitar, Jawa Timur.

Parameter	Nilai
S_s	0,4
S_1	0,15

b. Koefisien situs (F_a dan F_v).

Nilai F_a dan F_v berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 4 dan 5.

Koefisien F_a

S_s	F_a
0,25	1,2
0,5	1,2

Dengan interpolasi linier :

Untuk $S_s = 0,4$ didapatkan $F_a = 1,2$

Koefisien F_v

S₁	F_v
0,1	1,7
0,2	1,6

Dengan interpolasi linier :

Untuk $S_1 = 0,15$ didapatkan $F_v = 1,65$

c. Parameter respons spektral.

$$\begin{aligned}
 S_{ms} &= F_a \times S_s \\
 &= 1,2 \times 0,4 \\
 &= 0,48
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{m1} &= F_v \times S_1 \\
 &= 1,65 \times 0,15 \\
 &= 0,2475
 \end{aligned}$$

d. Parameter percepatan spektral desain.

$$\begin{aligned}
 S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{ms} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,48 \\
 &= 0,32 \\
 S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{m1} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,2475 \\
 &= 0,165
 \end{aligned}$$

e. Penentuan kategori desain seismik.

Penentuan KDS berdasarkan tabel 6 dan tabel 7 SNI 1726-2012 Pasal 6.5 dengan menggunakan S_{DS} dan S_{D1} .

$$S_{DS} = 0,32$$

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

$$S_{DS} = 0,165$$

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Karena S_{D1} termasuk kedalam kategori desain seismik D, maka ditinjau pasal 6.5 SNI 1726-2012. Jika S_1 lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diijinkan untuk ditentukan sesuai tabel 6 saja (SNI 1726-2012 Pasal 6.5), dimana berlaku semua ketentuan dibawah :

1. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan perioda fundamental struktur T_a , yang ditentukan sesuai dengan 7.8.2.1 adalah kurang dari $0,8T_s$, dimana T_s ditentukan sesuai dengan 6.4.

$$T_a = 0,1N$$

Dimana N adalah jumlah tingkat.

Maka,

$$\begin{aligned} T_a &= 0,1 \times (4) \\ &= 0,4 \end{aligned}$$

$$T_a \leq 0,8T_s$$

$$0,4 \leq 0,8 \times 0,51563$$

$$0,4 \leq 0,4125 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

2. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perioda fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari T_s .

T_s didapatkan berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.4.

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{Ds}}$$

$$T_s = \frac{0,165}{0,32} = 0,51563$$

$$T_a < T_s$$

$$0,4 < 0,51563 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

3. Persamaan 22 digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik C_s .

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R}$$

$$C_s = \frac{0,32}{\frac{5}{1,5}} = 0,096$$

4. Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di 7.3.1 atau diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal penahan gaya gempa tidak melebihi 12 m.

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.3.1.2, dimana kondisi diafragma kaku yaitu diafragma pelat beton atau dek metal yang diberi penutup beton dengan perbandingan lebar dan panjang bangunan sebesar 3 atau kurang pada struktur tanpa ketidakberaturan horisontal.

$$\frac{S}{D_e} < 3$$

$$\frac{40 \text{ m}}{40 \text{ m}} < 3$$

$$1 < 3 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Karena memenuhi 4 persyaratan diatas, maka penentuan kategori desain seismik berdasar pada tabel 6 SNI 1726-2012, yaitu termasuk kedalam **kategori desain seismik C**, sehingga perhitungan struktur direncanakan menggunakan **Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)**.

4.2. Preliminary Design

Dalam merencanakan struktur bangunan Gedung, langkah awal yang perlu lakukan adalah menentukan dimensi-dimensi komponen struktur yang digunakan dalam perencanaan bangunan tersebut.

4.2.1. Perencanaan Dimensi Balok

A. Balok Induk

- Data-data perencanaan :

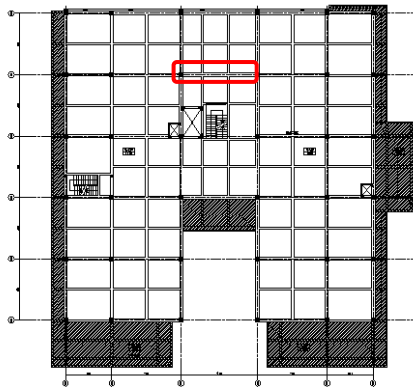
Tipe balok = BII

Bentang balok = 1000 cm

Kuat leleh tulangan lentur (f_y) = 400 MPa

Mutu Beton (f_c') = 25 MPa

- Gambar denah perencanaan :



Gambar 4.1. Denah Perencanaan Balok Induk

➤ Perhitungan perencanaan :

$$h = \frac{L}{14} \left(0,4 + \frac{fy}{700} \right)$$

$$h = \frac{1000 \text{ cm}}{14} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$h = 69,39 \text{ cm} \cong 70 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

$$b = \frac{2}{3} 70 \text{ cm}$$

$$b = 46,67 \text{ cm} \cong 45 \text{ cm}$$

Maka, direncanakan Balok Induk dengan dimensi **45/70**.

B. Balok Anak

➤ Data-data perencanaan :

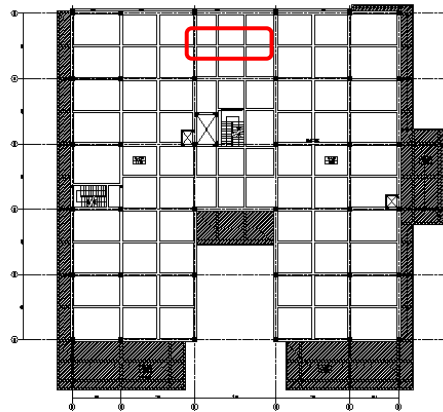
Tipe balok = BA1

Bentang balok = 1000 cm

Kuat leleh tulangan lentur (f_y) = 400 MPa

Mutu Beton (f_c') = 25 MPa

➤ Gambar denah perencanaan :



Gambar 4.2. Denah Perencanaan Balok Anak

➤ Perhitungan perencanaan :

$$h = \frac{L}{21} \left(0,4 + \frac{fy}{700} \right)$$

$$h = \frac{1000 \text{ cm}}{21} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$h = 46,26 \text{ cm} \cong 45 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

$$b = \frac{2}{3} 45 \text{ cm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

Maka, direncanakan Balok Anak dengan dimensi **30/45**.

4.2.2. Perencanaan Dimensi Sloof

- Data-data perencanaan :

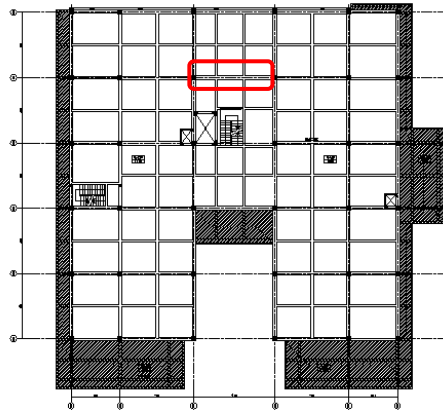
Tipe sloof = B1

Bentang sloof = 1000 cm

Dimensi balok induk = 45/70

Bentang balok = 1000 cm

- Gambar denah perencanaan :



Gambar 4.3. Denah Perencanaan Sloof

- Perhitungan perencanaan :

$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} 45 \text{ cm} \times (70 \text{ cm})^3$$

$$I_{\text{balok}} = 1.286.250 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{\text{sloof}}}{L_{\text{sloof}}} = \frac{I_{\text{balok}}}{L_{\text{balok}}}$$

$$I_{\text{sloof}} = \frac{L_{\text{sloof}} \times I_{\text{balok}}}{L_{\text{balok}}}$$

$$I_{\text{sloof}} = \frac{1000 \text{ cm} \times 1.286.250 \text{ cm}^4}{1000 \text{ cm}}$$

$$I_{\text{sloof}} = 1.286.250 \text{ cm}^4$$

Direncanakan dimensi sloof $b = 2/3h$

$$I_{\text{sloof}} = \frac{1}{12}bh^3$$

$$1.286.250 \text{ cm}^4 = \frac{1}{12} \times \frac{2}{3} \times h^4$$

$$h^4 = 23.152.500 \text{ cm}^4$$

$$h = 69,37 \text{ cm} \cong 70 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h$$

$$b = \frac{2}{3} 70 \text{ cm}$$

$$b = 46,67 \text{ cm} \cong 45 \text{ cm}$$

Maka, direncanakan Sloof dengan dimensi **45/70**.

4.2.3. Perencanaan Dimensi Kolom

➤ Data-data perencanaan :

Tipe kolom = K1

Tinggi Kolom = 420 cm

Dimensi balok induk = 45/70

Bentang balok = 1000 cm

➤ Perhitungan perencanaan :

$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12}bh^3$$

$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} 45 \text{ cm} \times (70 \text{ cm})^3$$

$$I_{\text{balok}} = 1.286.250 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{kolom}}} = \frac{I_{\text{balok}}}{L_{\text{balok}}}$$

$$I_{\text{kolom}} = \frac{L_{\text{sloof}} \times I_{\text{balok}}}{L_{\text{balok}}}$$

$$I_{\text{kolom}} = \frac{42 \text{ cm} \times 1.286.250 \text{ cm}^4}{1000 \text{ cm}}$$

$$I_{\text{kolom}} = 540.225 \text{ cm}^4$$

Direncanakan dimensi kolom $b = h$

$$I_{\text{kolom}} = \frac{1}{12} b h^3$$

$$540.225 \text{ cm}^4 = \frac{1}{12} \times h^4$$

$$h^4 = 6.482.700 \text{ cm}^4$$

$$h = 50,46 \text{ cm} \cong 50 \text{ cm}$$

$$b = h$$

$$b = 50 \text{ cm}$$

Maka, direncanakan Kolom dengan dimensi **50/50**.

4.2.4. Perencanaan Dimensi Tangga

A. Tangga Utama

➤ Data-data perencanaan :

Tipe tangga	= tangga utama 1
Panjang datar tangga	= 260 cm
Tinggi tangga	= 420 cm
Tinggi pelat bordes	= 210 cm
Tebal pelat tangga	= 20 cm
Tebal pelat bordes	= 15 cm
Lebar injakan (i)	= 30 cm
Tinggi injakan (t)	= 17,5 cm
Lebar tangga	= 170 cm
Lebar bordes	= 140 cm

➤ Perhitungan perencanaan :

- Jumlah tanjakan (n)

$$n_t = \frac{\text{tinggi bordes}}{t} = \frac{210 \text{ cm}}{17,5 \text{ cm}}$$

$$n_t = 12 \text{ buah}$$

- Jumlah injakan (i)

$$n_i = n_t - 1 = 12 \text{ buah} - 1$$

$$n_i = 11 \text{ buah}$$

- Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

$$\alpha = \arctan \frac{17,5}{30}$$

$$\alpha = 30,3^\circ$$

- Cek syarat

Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 30,26^\circ \leq 40^\circ \quad (\text{OK})$$

Syarat lebar injakan dan tinggi tanjakan

$$60 \leq 2t + i \leq 65$$

$$60 \leq 65 \leq 65 \quad (\text{OK})$$

- Tebal efektif pelat tangga

$$\text{Luas 1} = \frac{1}{2} \times i \times t$$

$$\text{Luas 1} = \frac{1}{2} \times 30 \text{ cm} \times 17,5 \text{ cm}$$

$$\text{Luas 1} = 263 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas 2} = \frac{1}{2} \times \sqrt{(i^2 + t^2)} \times d$$

$$\text{Luas 2} = \frac{1}{2} \times \sqrt{((30 \text{ cm})^2 + (17,5 \text{ cm})^2)} \times d$$

$$Luas\ 2 = 17,4\ d$$

$$Luas\ 1 = Luas\ 2$$

$$263\ cm^2 = 17,4\ d$$

$$d = 15,12\ cm$$

$$\frac{1}{2} d = 7,56\ cm$$

Maka tebal efektif pelat tangga:

$$h = t_s + \frac{1}{2} d$$

$$= 20\ cm + 7,56\ cm$$

$$= 27,56\ cm \approx 28\ cm$$

B. Tangga Darurat

➤ Data-data perencanaan :

Tipe tangga = tangga darurat 1

Panjang datar tangga = 300 cm

Tinggi tangga = 420 cm

Tinggi pelat bordes = 210 cm

Tebal pelat tangga = 20 cm

Tebal pelat bordes = 15 cm

Lebar injakan (i) = 30 cm

Tinggi injakan (t) = 17,5 cm

Lebar tangga = 137,5 cm

Lebar bordes = 100 cm

➤ Perhitungan perencanaan :

- Jumlah tanjakan (n)

$$n_t = \frac{\text{tinggi bordes}}{t} = \frac{210\ cm}{17,5\ cm}$$

$$n_t = 12\ buah$$

- Jumlah injakan (i)

$$n_i = n_t - 1 = 12\ buah - 1$$

$$n_i = 11\ buah$$

- Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

$$\alpha = \arctan \frac{17,5}{30}$$

$$\alpha = 30,3^\circ$$

- Cek syarat

Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 30,26^\circ \leq 40^\circ \quad (\text{OK})$$

Syarat lebar injakan dan tinggi tanjakan

$$60 \leq 2t + i \leq 65$$

$$60 \leq 65 \leq 65 \quad (\text{OK})$$

- Tebal efektif pelat tangga

$$\text{Luas 1} = \frac{1}{2} \times i \times t$$

$$\text{Luas 1} = \frac{1}{2} \times 30 \text{ cm} \times 17,5 \text{ cm}$$

$$\text{Luas 1} = 263 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas 2} = \frac{1}{2} \times \sqrt{(i^2 + t^2)} \times d$$

$$\text{Luas 2} = \frac{1}{2} \times \sqrt{((30 \text{ cm})^2 + (17,5 \text{ cm})^2)} \times d$$

$$\text{Luas 2} = 17,4 \text{ d}$$

$$\text{Luas 1} = \text{Luas 2}$$

$$263 \text{ cm}^2 = 17,4 \text{ d}$$

$$d = 15,12 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{2} d = 7,56 \text{ cm}$$

Maka tebal efektif pelat tangga:

$$h = t_s + \frac{1}{2} d$$

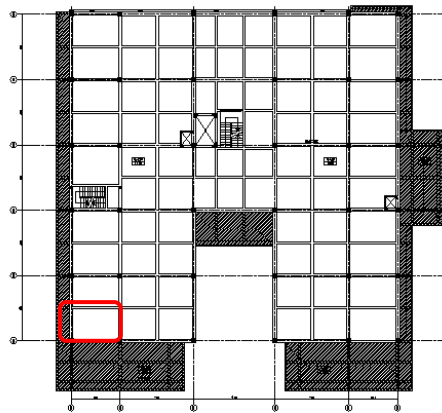
$$\begin{aligned}
 &= 20 \text{ cm} + 7,56 \text{ cm} \\
 &= 27,56 \text{ cm} \approx 28 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

4.2.5. Perencanaan Dimensi Pelat Lantai

➤ Data-data perencanaan :

Tipe pelat	= S1
Mutu beton (f_c')	= 25 MPa
Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
Rencana tebal pelat	= 12 cm
Bentang pelat sb. panjang	= 600 cm
Bentang pelat sb. pendek	= 400 cm
Balok induk	= 45/70
Balok anak	= 30/45

➤ Gambar denah perencanaan :



Gambar 4.4. Denah Perencanaan Pelat Lantai

➤ Perhitungan perencanaan :

- Bentang bersih sumbu panjang dan sumbu pendek.

$$l_n = ly - \frac{b_{\text{balok kiri}}}{2} - \frac{b_{\text{balok kanan}}}{2}$$

$$l_n = 600 \text{ cm} - \frac{45 \text{ cm}}{2} - \frac{45 \text{ cm}}{2}$$

$$= 555 \text{ cm}$$

$$s_n = lx - \frac{b_{\text{balok bawah}}}{2} - \frac{b_{\text{balok atas}}}{2}$$

$$s_n = 400 \text{ cm} - \frac{45 \text{ cm}}{2} - \frac{30 \text{ cm}}{2}$$

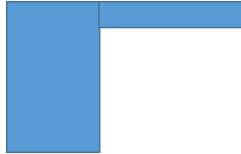
$$= 362,5 \text{ cm}$$

- Rasio l_n/s_n .

$$\beta = \frac{l_n}{s_n} = \frac{555 \text{ cm}}{362,5 \text{ cm}} = 1,531$$

- Perhitungan tebal pelat

- Tinjau balok kiri



$$b_w = 45 \text{ cm}$$

$$h = 70 \text{ cm}$$

$$h_w = 58 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

Lebar efektif pelat:

$$b_e = b_w + h_w = 103 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 4h_f = 93 \text{ cm}$$

diambil nilai b_e terkecil = 93 cm

Faktor modifikasi, K:

$$k_1 = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h}\right)x\left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k_1 = 1,478$$

Momen inersia penampang balok:

$$I_b = k \times \frac{b_w \times h^3}{12}$$

$$I_b = 1,478 \times \frac{45 \text{ cm} \times (70 \text{ cm})^3}{12}$$

$$= 1901533 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat:

$$I_p = \frac{b_p \times h_f^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0,5(600 \text{ cm}) \times (12 \text{ cm})^3}{12}$$

$$= 43200 \text{ cm}^4$$

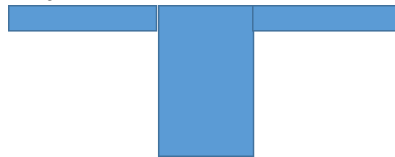
Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\propto f_1 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\propto f_1 = \frac{1901533 \text{ cm}^4}{43200 \text{ cm}^4}$$

$$\propto f_1 = 44,07$$

- Tinjau balok kanan



$$b_w = 45 \text{ cm}$$

$$h = 70 \text{ cm}$$

$$h_w = 58 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

Lebar efektif pelat:

$$b_e = b_w + 2h_w = 161 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 8h_f = 141 \text{ cm}$$

diambil nilai b_e terkecil = 141 cm

Faktor modifikasi, K:

$$k_2 = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k_2 = 1,83$$

Momen inersia penampang balok:

$$I_b = k \times \frac{b_w \times h^3}{12}$$

$$I_b = 1,83 \times \frac{45 \text{ cm} \times (70 \text{ cm})^3}{12}$$

$$= 2353905 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat:

$$I_p = \frac{b_p \times h_f^3}{12}$$

$$I_b = \frac{0,5(600 \text{ cm} + 450 \text{ cm}) \times (12 \text{ cm})^3}{12}$$

$$= 75600 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\propto f_2 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\propto f_2 = \frac{2353905 \text{ cm}^4}{75600 \text{ cm}^4}$$

$$\propto f_2 = 31,14$$

- Tinjau balok bawah



$$b_w = 45 \text{ cm}$$

$$h = 70 \text{ cm}$$

$$h_w = 58 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

Lebar efektif pelat:

$$b_e = b_w + h_w = 103 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 4h_f = 93 \text{ cm}$$

diambil nilai b_e terkecil = 93 cm

Faktor modifikasi, K:

$$k_3 = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k_3 = 1,478$$

Momen inersia penampang balok:

$$I_b = k \times \frac{b_w \times h^3}{12}$$

$$I_b = 1,478 \times \frac{45 \text{ cm} \times (70 \text{ cm})^3}{12}$$

$$= 1901533 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat:

$$I_p = \frac{b_p \times h_f^3}{12}$$

$$I_b = \frac{0,5(400 \text{ cm}) \times (12 \text{ cm})^3}{12}$$

$$= 28800 \text{ cm}^4$$

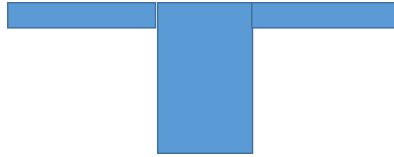
Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\propto f_3 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\propto f_3 = \frac{1901533 \text{ cm}^4}{28800 \text{ cm}^4}$$

$$\propto f_3 = 66,03$$

- Tinjau balok atas



$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$h = 45 \text{ cm}$$

$$h_w = 33 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

Lebar efektif pelat:

$$b_e = b_w + 2h_w = 96 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 8h_f = 126 \text{ cm}$$

diambil nilai b_e terkecil = 96 cm

Faktor modifikasi, K:

$$k_4 = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h}\right)x \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k_4 = 2,008$$

Momen inersia penampang balok:

$$I_b = k \times \frac{b_w \times h^3}{12}$$

$$I_b = 2,008 \times \frac{30 \text{ cm} \times (45 \text{ cm})^3}{12}$$

$$= 457446 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat:

$$I_p = \frac{b_p \times h_f^3}{12}$$

$$I_b = \frac{0,5(400 \text{ cm} + 400 \text{ cm}) \times (12 \text{ cm})^3}{12}$$

$$= 57600 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\propto f_4 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\propto f_4 = \frac{457446 \text{ cm}^4}{57600 \text{ cm}^4}$$

$$\propto f_4 = 35,8$$

Dari keempat balok diatas didapatkan rata-rata:

$$\propto fm = \frac{\propto f1 + \propto f2 + \propto f3 + \propto f4}{4}$$

$$\propto fm = \frac{44,07 + 31,14 + 66,03 + 35,8}{4}$$

$$\propto fm = 35,8$$

Karena $\propto fm > 2,0$ dipakai persamaan:

$$h_f = \frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 9\beta} > 90 \text{ mm}$$

$$h_f = \frac{\ln(0,8 + \frac{400}{1400})}{36 + 9(1,531)} > 90 \text{ mm}$$

$$h_f = 121,049 \text{ mm} > 90 \text{ mm}$$

Maka dipakai tebal pelat **120 mm**.

4.3. Perhitungan Pembebanan

4.3.1. Pembebanan pada Pelat

Pembebanan pada pelat berdasarkan pada SNI 1727-2013 dan brosur yang telah dilampirkan. Karena struktur pelat merupakan salah satu struktur sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati (Q_{DL}) dan beban hidup (Q_{LL}).

A. Pelat Lantai Atap

a. Beban Mati				
	Berat sendiri (t = 12 cm)	=	288 kg/m ²	23
	Spesi (t = 2cm)	=	46 kg/m ²	
	Plafond + penggantung	=	16,4 kg/m ²	
	Mekanikal Elektrikal	=	19 kg/m ²	
	Waterproofing	=	7 kg/m ²	
total		=	376,4 kg/m ²	
b. Beban Hidup				
	Atap datar	=	96 kg/m ²	

B. Pelat Lantai 3-4

a. Beban Mati				
	Berat sendiri (t = 12 cm)	=	288 kg/m ²	23 16,5
	Spesi (t = 2cm)	=	46 kg/m ²	
	Keramik (t = 1cm)	=	16,5 kg/m ²	
	Plafond + penggantung	=	16,4 kg/m ²	
	Mekanikal Elektrikal	=	19 kg/m ²	
	Plumbing	=	25 kg/m ²	
total		=	410,9 kg/m ²	
b. Beban Hidup				
	Ruang pasien	=	192 kg/m ²	
	koridor	=	383 kg/m ²	

C. Pelat Lantai 2

a. Beban Mati				
	Berat sendiri (t = 12 cm)	=	288 kg/m ²	23 16,5
	Spesi (t = 2cm)	=	46 kg/m ²	
	Keramik (t = 1cm)	=	16,5 kg/m ²	
	Plafond + penggantung	=	16,4 kg/m ²	
	Mekanikal Elektrikal	=	19 kg/m ²	
	Plumbing	=	25 kg/m ²	
total		=	410,9 kg/m ²	
b. Beban Hidup				
	Ruang pasien	=	192 kg/m ²	
	Ruang operasi, lab	=	287 kg/m ²	
	koridor	=	383 kg/m ²	

D. Pelat Kantilever

a. Beban Mati				
	Berat sendiri (t = 12 cm)	=	288 kg/m ²	
	Mekanikal Elektrikal	=	19 kg/m ²	
	Waterproofing	=	7 kg/m ²	
total		=	314 kg/m ²	
b. Beban Hidup				
	Atap datar	=	96 kg/m ²	

E. Pelat Tangga

a. Beban Mati				
	Berat sendiri (t = 20 cm)	=	627 kg/m ²	23 16,5
	Railing	=	30 kg/m ²	
	Spesi (t = 2cm)	=	46 kg/m ²	
	Keramik (t = 1cm)	=	16,5 kg/m ²	
total		=	720 kg/m ²	
b. Beban Hidup				
	Tangga dan jalan keluar	=	479 kg/m ²	

F. Pelat Bordes

a. Beban Mati				
	Berat sendiri (t = 15 cm)	=	360 kg/m ²	
	Railing	=	30 kg/m ²	
	Spesi (t = 2cm)	=	46 kg/m ²	23
	Keramik (t = 1cm)	=	16,5 kg/m ²	16,5
	total	=	453 kg/m ²	
b. Beban Hidup				
	Tangga dan jalan keluar	=	479 kg/m ²	

4.3.2. Beban Dinding

Pembebanan pada komponen struktur dinding disesuaikan dengan brosur yang telah dilampirkan.

Material	BJ		
Bata Ringan Citicon (t = 10 cm)	600 kg/m ³	=	60 kg/m ²
Plester D200 (t = 3 cm)	20 kg/m ² / _{10mm}	=	60 kg/m ²
Acian NP S540 (t = 2 cm)	3 kg/m ² / _{2mm}	=	30 kg/m ²
total		=	150 kg/m ²

Beban dinding didistribusikan pada komponen balok sebagai beban mati, dengan perhitungan pembebanan menyesuaikan dengan tinggi lantai pada bangunan.

➤ Data tinggi lantai:

- Lantai 1 (H1) = 4,2 m
- Lantai 2 (H2) = 3,85 m
- Lantai 3 (H3) = 3,8 m
- Lantai 4 (H4) = 3,8 m
- Lantai ruang lift (H5) = 3,5 m

➤ Perhitungan pembebanan.

- Lantai 1 (H1)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban merata dinding} &= H1 \times Q_{\text{dinding}} \\
 &= 4,2 \text{ m} \times 150 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 630 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Lantai 2 (H2)
 Beban merata dinding $= H2 \times Q_{\text{dinding}}$
 $= 3,85 \text{ m} \times 150 \text{ kg/m}^2$
 $= 577,5 \text{ kg/m}$
- Lantai 3 (H3)
 Beban merata dinding $= H3 \times Q_{\text{dinding}}$
 $= 3,8 \text{ m} \times 150 \text{ kg/m}^2$
 $= 570 \text{ kg/m}$
- Lantai 4 (H4)
 Beban merata dinding $= H4 \times Q_{\text{dinding}}$
 $= 3,8 \text{ m} \times 150 \text{ kg/m}^2$
 $= 570 \text{ kg/m}$
- Lantai ruang lift (H5)
 Beban merata dinding $= H5 \times Q_{\text{dinding}}$
 $= 3,5 \text{ m} \times 150 \text{ kg/m}^2$
 $= 525 \text{ kg/m}$

4.3.3. Beban Angin

Prosedur perhitungan beban angin berdasarkan pada SNI 1727-2013.

1. Kategori resiko bangunan gedung $= \text{IV}$
2. Kecepatan angin dasar (v) $= 28 \text{ km/jam}$
 $= 7,778 \text{ m/s}$
3. Parameter beban angin.
 - Faktor arah angin (K_d) $= 0,85$
 - Kategori eksposur $= \text{B}$
 - Faktor topografi (K_{zt}) $= 1$
 - Faktor tiupan angin (G) $= 0,85$
 - Kategori ketertutupan $= \text{tertutup}$
 - Koefisien tekanan internal (GC_{pi}) $= + 0,18$
 $- 0,18$

4. Koefisien eksposur tekanan velositas.

- $Z = 17,72$
- $\alpha = 7,5$
- $z_g = 365,76$

Untuk,

$$4,5 \text{ m} < z < z_g$$

$$4,5 \text{ m} < 17,72 < 365,76 \quad (\text{Memenuhi})$$

Maka,

$$\begin{aligned} k_z &= 2,01(z/z_g)^{2/\alpha} \\ &= 2,01(17,72/365,76)^{2/7,5} \\ &= 0,8966 \end{aligned}$$

Interpolasi untuk mencari nilai k_h

z (m)	Eksposur B
15,2	0,81
17,72	k_h
18	0,85

$$k_h = 0,846$$

5. Tekanan velositas.

$$\begin{aligned} q_z &= 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d V^2 \\ &= 0,613 \cdot 0,8966 \cdot 1,0 \cdot 85 \cdot (7,778 \text{ m/s})^2 \\ &= 28 \text{ N/m}^2 = 2,8 \text{ kg/m}^2 \\ q_h &= 0,613 \cdot K_h \cdot K_{zt} \cdot K_d V^2 \\ &= 0,613 \cdot 0,846 \cdot 1,0 \cdot 85 \cdot (7,778 \text{ m/s})^2 \\ &= 27 \text{ N/m}^2 = 2,7 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

6. Koefisien tekanan eksternal.

L = dimensi horizontal bangunan gedung diukur tegak lurus terhadap arah angin $\rightarrow 40 \text{ m}$

B = dimensi horizontal bangunan gedung diukur sejajar terhadap arah angin. $\rightarrow 40 \text{ m}$

Koefisien tekanan dinding.

Permukaan	L/B	Cp	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datan	1	0,8	qz
Dinding di sisi angin pergi	1	-0,5	qh
Dinding tepi	1	-0,7	qh

7. Tekanan Angin

$$\rho = qG C_p$$

Permukaan	Cp	Digunakan dengan	p
Dinding di sisi angin datan	0,8	qz = 2,83 kg/m ²	2 kg/m ²
Dinding di sisi angin pergi	-0,5	qh = 2,67 kg/m ²	1 kg/m ²
Dinding tepi	-0,7	qh = 2,67 kg/m ²	2 kg/m ²

4.3.4. Beban Hujan

$$R = 0,0098 (ds+dh)$$

Dengan,

ds = kedalaman air pada atap yang tidak melendut (20 mm)

dh = tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut (10mm)

Maka,

$$\begin{aligned} R &= 0,0098 (ds+dh) \\ &= 0,0098 (20 + 10) \\ &= 0,294 \text{ kN/m}^2 = 29,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

4.3.5. Beban Gempa

Prosedur perhitungan beban gempa dengan metode statik ekuivalen berdasarkan pada SNI 1726-2012.

1. Klasifikasi situs.

	di	Ni	di/Ni
	1,5	3	0,5
	1,5	4	0,375
	1,5	6	0,25
	1,5	10	0,15
	1,5	12	0,125
	1,5	34	0,04412
	1,5	36	0,04167
	1,5	64	0,02344
	1,5	63	0,02381
	1,5	65	0,02308
	1,5	65	0,02308
	1,5	69	0,02174
	1,5	66	0,02273
	1,5	63	0,02381
	1,5	65	0,02308
	1,5	66	0,02273
	1,5	65	0,02308
	1,5	66	0,02273
	1,5	63	0,02381
	1,5	68	0,02206
Jumlah	30		1,78494

Berdasarkan nilai SPT diatas didapatkan :

$$\bar{N} = \frac{\sum d}{\sum \bar{N}} = 16,8073$$

Berdasarkan Klasifikasi situs SNI 1726-2012, tanah pada lokasi proyek termasuk ke dalam **situs SD (Tanah Sedang)**.

2. Faktor keutamaan bangunan (I_e).

Kategori resiko dan faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 4.1.2 tabel 1 s/d tabel 2. Bangunan rumah sakit yang menjadi obyek pada tugas akhir ini termasuk kedalam **kategori resiko IV**.

Kategori resiko	Faktor keutamaan Gempa
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

3. Menentukan parameter pergerakan tanah.

a. Parameter percepatan gempa (S_s dan S_1).

Nilai S_s dan S_1 didapat berdasarkan peta hazzard Gempa Indonesia 2010 dengan lokasi bangunan di kota Blitar, Jawa Timur.

Parameter	Nilai
S_s	0,4
S_1	0,15

b. Koefisien situs (F_a dan F_v).

Nilai F_a dan F_v berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 4 dan 5.

Koefisien F_a

S_s	F_a
0,25	1,2
0,5	1,2

Dengan interpolasi linier :

Untuk $S_s = 0,4$ didapatkan $F_a = 1,2$

Koefisien F_v

S_1	F_v
0,1	1,7
0,2	1,6

Dengan interpolasi linier :

Untuk $S_1 = 0,15$ didapatkan $F_v = 1,65$

c. Parameter respons spektral.

$$\begin{aligned}
 S_{ms} &= F_a \times S_s \\
 &= 1,2 \times 0,4 \\
 &= 0,48 \\
 S_{m1} &= F_v \times S_1 \\
 &= 1,65 \times 0,15 \\
 &= 0,2475
 \end{aligned}$$

d. Parameter percepatan spektral desain.

$$\begin{aligned}
 S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{ms} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,48 \\
 &= 0,32 \\
 S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{m1} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,2475 \\
 &= 0,165
 \end{aligned}$$

4. Menentukan perioda fundamental pendekatan

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.2.1 dimana sebagai alternatif, diijinkan menentukan T_a dari persamaan dibawah untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tingkat paling sedikit 3 m.

$$T_a = 0,1N$$

Dimana N adalah jumlah tingkat.

Maka,

$$\begin{aligned} T_a &= 0,1 \times (4) \\ &= 0,4 \end{aligned}$$

5. Koefisien respons seismik.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}}$$

$$C_s = \frac{0,32}{\frac{5}{1,5}} = 0,096$$

Dengan nilai $R = 5$ (SRPMM)

$$\begin{aligned} C_{S_{\min}} &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e & \geq & 0,01 \\ &= 0,044 \times 0,32 \times 1,5 \\ &= 0,02112 & \geq & 0,01 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

$$\begin{aligned} C_{S_{\min}} &< C_s \\ 0,02112 &< 0,096 & \text{ **(MEMENUHI)** } \end{aligned}$$

Maka,

Digunakan $C_s = 0,096$

6. Berat seismik efektif total struktur.

Berdasarkan perhitungan berat struktur yang dilampirkan, didapatkan :

Tabel 4.2. Berat Seismik Efektif Bangunan

W -	Jenis Beban	Komponen	Berat	Total
			(kg)	(kg)
W0	Mati	Kolom pendek 50/50	5562	5562
W1	Mati	Kolom pendek 50/50	5562	565400,41
		Kolom 50/50	45360,00	
		Sloof 45/70	370440,00	
		Tangga utama	6401,04	
		Tangga darurat	5368,20	
	Mati Tambahan	Dinding	125045,55	
		Tangga utama	745,37	
		Tangga darurat	816,54	
	Hidup	Tangga utama	2701,85	
		Tangga darurat	2959,86	
W2	Mati	Kolom 50/50	86940,00	1931727,33
		Balok Induk 45/70	372689,10	
		Balok Anak 30/45	153770,40	
		Balok Kantilever 15/20	3445,20	
		Pelat	528687,36	
		Tangga utama	11123,88	
		Tangga darurat	8905,80	
	Mati Tambahan	Dinding	287858,68	
		Pelat	184461,39	
		Tangga utama	1475,01	
		Tangga darurat	1625,46	
	Hidup	Pelat	279506,30	
		Tangga utama	5346,69	
		Tangga darurat	5892,06	
W3	Mati	Kolom 50/50	82620,00	1784387,42
		Balok Induk 45/70	352881,90	
		Balok Anak 30/45	121564,80	
		Balok Kantilever 15/20	2592,00	
		Pelat	415958,40	
		Tangga utama	10809,96	
		Tangga darurat	8859,60	
	Mati Tambahan	Dinding	271215,45	
		Pelat	173628,47	
		Tangga utama	1456,14	
	Hidup	Tangga darurat	1616,55	
		Pelat	330046,08	

		Tangga utama	5278,29	
		Tangga darurat	5859,79	
W4	Mati	Kolom 50/50	82080,00	1706633,01
		Balok Induk 45/70	352881,90	
		Balok Anak 30/45	121564,80	
		Balok Kantilever 15/20	2592,00	
		Pelat	415958,40	
		Tangga utama	8139,12	
		Tangga darurat	8853,00	
	Mati Tambahan	Dinding	251399,64	
		Pelat	173628,47	
		Tangga utama	726,50	
		Tangga darurat	1615,28	
	Hidup	Pelat	278705,28	
		Tangga utama	2633,45	
		Tangga darurat	5855,18	
W5	Mati	Kolom 50/50	44460,00	1262556,53
		Balok Induk 45/70	352881,90	
		Balok Anak 30/45	126497,70	
		Pelat	351384,00	
		Tangga darurat	7698,00	
	Mati Tambahan	Dinding	151856,70	
		Pelat	124140,12	
		Tangga darurat	807,64	
	Hidup	Pelat	99902,88	
		Tangga darurat	2927,59	
W6	Mati	Balok	25515	55349,175
		Pelat	7920	
		Tangga darurat	7920	
	Mati Tambahan	Dinding	8859,375	
		Pelat	2917,2	
	Hidup	Pelat	2217,6	
TOTAL				7.311.615,87

7. Gaya geser dasar seismik (V)

$$\begin{aligned}
 V &= C_s \times W \\
 &= 0,096 \times 7311615,87 \text{ kg} \\
 &= 701.915 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

8. Distribusi vertikal gaya gempa

Nilai k :

T	k
0,5	1
0,4	x
2,5	2

Dengan interpolasi linier didapatkan nilai **k=0,95**

$$F_x = C_{vx} \times V$$

Dimana,

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum W_x \cdot h_x^k}$$

Tabel 4.3. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Lantai	Wx (kg)	hx (m)	Wx.hx ^k (kg.m)	Cvx	V (kg)	Fx (kg)
F0	5562,00	0	0	0	701915	0
F1	565400,41	0,5	292669,6046	0,004905		3442,9104
F2	1931727,33	4,7	8403085,63	0,140832		98852,324
F3	1784387,42	8,55	13704303,33	0,229679		161214,86
F4	1706633,01	12,35	18587618,53	0,311521		218661,26
F5	1262556,53	16,15	17742496,67	0,297357		208719,41
F6	55349,18	19,65	937142,3815	0,015706		11024,367
Σ	7311615,87	61,90	59667316,14			701915

Cek Gaya Geser

$$V = F_0 + F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$701.915 \text{ kg} = 701.915 \text{ kg}$$

(OK)

9. Beban gempa per kolom.

Lantai	Pusat Massa		Pusat Kekakuan		Eksentrisitas	
	x	y	x	y	x	y
Lantai 1	20,40	21,00	21,1256	18,3189	0,73	2,68
Lantai 2	19,77	21,53	19,8292	18,3185	0,06	3,21
Lantai 3	19,80	21,42	19,8349	20,2739	0,03	1,14
Lantai 4	20,18	21,16	19,8339	20,2757	0,35	0,88
Lantai 5	20,04	21,30	19,9158	20,1397	0,13	1,16
Lantai atap	9,07	21,27	14,6146	25,2582	5,55	3,99

- **Lantai 0**

$$F_{ix} = 0$$

$$F_{iy} = 0$$

- **Lantai 1**

$$\text{Eksentrisitas X} = 0,73 \text{ m}$$

$$\text{Eksentrisitas Y} = 2,68 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_x &= \text{Eksentrisitas X} \cdot F_1 \\ &= 0,73 \text{ m} \cdot 3442,91 \text{ kg} \\ &= 2515,5 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \text{Eksentrisitas Y} \cdot F_1 \\ &= 2,68 \text{ m} \cdot 3442,91 \text{ kg} \\ &= 9214,4 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Tabel 4.4. Gaya Gempa per Kolom Lantai 1

No	As	X	Y	X ²	Y ²	FIX	FIY
1	A-1	-0,73	-2,68	0,53	7,16	88,19479	86,99941
2	A-2	5,27	-2,68	27,77	7,16	88,89255	86,99941
3	A-3	14,27	-2,68	203,62	7,16	89,93918	86,99941
4	A-4	24,27	-2,68	589,00	7,16	91,10211	86,99941
5	A-5	33,27	-2,68	1106,85	7,16	92,14874	86,99941
6	A-6	39,27	-2,68	1542,09	7,16	92,8465	86,99941
7	B-1	-0,73	5,32	0,53	28,34	88,19479	90,82655
8	B-2	5,27	5,32	27,77	28,34	88,89255	90,82655
9	B-3	14,27	5,32	203,62	28,34	89,93918	90,82655
10	B-4	24,27	5,32	589,00	28,34	91,10211	90,82655
11	B-5	33,27	5,32	1106,85	28,34	92,14874	90,82655
12	B-6	39,27	5,32	1542,09	28,34	92,8465	90,82655
13	C-1	-0,73	13,32	0,53	177,52	88,19479	94,65369
14	C-2	5,27	13,32	27,77	177,52	88,89255	94,65369
15	C-3	14,27	13,32	203,62	177,52	89,93918	94,65369
16	C-4	24,27	13,32	589,00	177,52	91,10211	94,65369
17	C-5	33,27	13,32	1106,85	177,52	92,14874	94,65369
18	C-6	39,27	13,32	1542,09	177,52	92,8465	94,65369
19	D-1	-0,73	21,32	0,53	454,70	88,19479	98,48083
20	D-2	5,27	21,32	27,77	454,70	88,89255	98,48083
21	D-3	14,27	21,32	203,62	454,70	89,93918	98,48083
22	D-4	24,27	21,32	589,00	454,70	91,10211	98,48083
23	D-5	33,27	21,32	1106,85	454,70	92,14874	98,48083
24	D-6	39,27	21,32	1542,09	454,70	92,8465	98,48083
25	E-1	-0,73	29,32	0,53	859,88	88,19479	102,308
26	E-2	5,27	29,32	27,77	859,88	88,89255	102,308
27	E-3	14,27	29,32	203,62	859,88	89,93918	102,308
28	E-4	24,27	29,32	589,00	859,88	91,10211	102,308
29	E-5	33,27	29,32	1106,85	859,88	92,14874	102,308
30	E-6	39,27	29,32	1542,09	859,88	92,8465	102,308
31	F-1	-0,73	37,32	0,53	1393,06	88,19479	106,1351
32	F-2	5,27	37,32	27,77	1393,06	88,89255	106,1351
33	F-3	14,27	37,32	203,62	1393,06	89,93918	106,1351
34	F-4	24,27	37,32	589,00	1393,06	91,10211	106,1351
35	F-5	33,27	37,32	1106,85	1393,06	92,14874	106,1351
36	F-6	39,27	37,32	1542,09	1393,06	92,8465	106,1351
37	DE'-3'	17,42	21,32	303,44	454,70	90,3055	98,48083
38	DE'-34'	14,27	25,32	203,62	641,29	89,93918	100,3944
39	DE'-34'	17,42	25,32	303,44	641,29	90,3055	100,3944
				21629,65	19261,20		

- **Lantai 2**

$$\begin{aligned}
 \text{Eksentrisitas X} &= 0,06 \text{ m} \\
 \text{Eksentrisitas Y} &= 3,21 \text{ m} \\
 M_x &= \text{Eksentrisitas X} \cdot F_2 \\
 &= 0,06 \text{ m} \cdot 98852,91 \text{ kg} \\
 &= 5457,9 \text{ kg.m} \\
 M_y &= \text{Eksentrisitas Y} \cdot F_2 \\
 &= 3,21 \text{ m} \cdot 98852,91 \text{ kg} \\
 &= 317380 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.5. Gaya Gempa per Kolom Lantai 2

No	As	X	Y	X ²	Y ²	FiX	FiY
1	A-1	-0,06	-3,21	0,00	10,31	2534,669	2506,596
2	A-2	5,94	-3,21	35,34	10,31	2535,350	2506,596
3	A-3	14,94	-3,21	223,35	10,31	2536,373	2506,596
4	A-4	24,94	-3,21	622,24	10,31	2537,509	2506,596
5	A-5	33,94	-3,21	1152,25	10,31	2538,532	2506,596
6	A-6	39,94	-3,21	1595,59	10,31	2539,214	2506,596
7	B-1	-0,06	4,79	0,00	22,94	2534,669	2576,561
8	B-2	5,94	4,79	35,34	22,94	2535,350	2576,561
9	B-3	14,94	4,79	223,35	22,94	2536,373	2576,561
10	B-4	24,94	4,79	622,24	22,94	2537,509	2576,561
11	B-5	33,94	4,79	1152,25	22,94	2538,532	2576,561
12	B-6	39,94	4,79	1595,59	22,94	2539,214	2576,561
13	C-1	-0,06	12,79	0,00	163,57	2534,669	2646,525
14	C-2	5,94	12,79	35,34	163,57	2535,350	2646,525
15	C-3	14,94	12,79	223,35	163,57	2536,373	2646,525
16	C-4	24,94	12,79	622,24	163,57	2537,509	2646,525
17	C-5	33,94	12,79	1152,25	163,57	2538,532	2646,525
18	C-6	39,94	12,79	1595,59	163,57	2539,214	2646,525
19	D-1	-0,06	20,79	0,00	432,20	2534,669	2716,489
20	D-2	5,94	20,79	35,34	432,20	2535,350	2716,489
21	D-3	14,94	20,79	223,35	432,20	2536,373	2716,489
22	D-4	24,94	20,79	622,24	432,20	2537,509	2716,489
23	D-5	33,94	20,79	1152,25	432,20	2538,532	2716,489
24	D-6	39,94	20,79	1595,59	432,20	2539,214	2716,489
25	E-1	-0,06	28,79	0,00	828,83	2534,669	2786,454

26	E-2	5,94	28,79	35,34	828,83	2535,350	2786,454
27	E-3	14,94	28,79	223,35	828,83	2536,373	2786,454
28	E-4	24,94	28,79	622,24	828,83	2537,509	2786,454
29	E-5	33,94	28,79	1152,25	828,83	2538,532	2786,454
30	E-6	39,94	28,79	1595,59	828,83	2539,214	2786,454
31	F-1	-0,06	36,79	0,00	1353,46	2534,669	2856,418
32	F-2	5,94	36,79	35,34	1353,46	2535,350	2856,418
33	F-3	14,94	36,79	223,35	1353,46	2536,373	2856,418
34	F-4	24,94	36,79	622,24	1353,46	2537,509	2856,418
35	F-5	33,94	36,79	1152,25	1353,46	2538,532	2856,418
36	F-6	39,94	36,79	1595,59	1353,46	2539,214	2856,418
37	A'-1'	-0,06	-8,21	0,00	67,41	2534,669	2462,868
38	A'-2'	5,94	-8,21	35,34	67,41	2535,350	2462,868
39	A'-23'	11,94	-8,21	142,68	67,41	2536,032	2462,868
40	A'-3'	27,94	-8,21	780,91	67,41	2537,850	2462,868
41	A'-4'	31,94	-8,21	1020,47	67,41	2538,305	2462,868
42	A'-56'	39,94	-8,21	1595,59	67,41	2539,214	2462,868
43	A-1	-0,06	-3,21	0,00	10,31	2534,669	2506,596
44	A-2	5,94	-3,21	35,34	10,31	2535,350	2506,596
45	A-3	14,94	-3,21	223,35	10,31	2536,373	2506,596
46	A-4	24,94	-3,21	622,24	10,31	2537,509	2506,596
47	A-5	33,94	-3,21	1152,25	10,31	2538,532	2506,596
48	A-6	39,94	-3,21	1595,59	10,31	2539,214	2506,596
49	B-1	-0,06	4,79	0,00	22,94	2534,669	2576,561
50	B-2	5,94	4,79	35,34	22,94	2535,350	2576,561
51	B-3	14,94	4,79	223,35	22,94	2536,373	2576,561
52	B-4	24,94	4,79	622,24	22,94	2537,509	2576,561
53	B-5	33,94	4,79	1152,25	22,94	2538,532	2576,561
54	B-6	39,94	4,79	1595,59	22,94	2539,214	2576,561
55	C-1	-0,06	12,79	0,00	163,57	2534,669	2646,525
56	C-2	5,94	12,79	35,34	163,57	2535,350	2646,525
57	C-3	14,94	12,79	223,35	163,57	2536,373	2646,525
58	C-4	24,94	12,79	622,24	163,57	2537,509	2646,525
59	C-5	33,94	12,79	1152,25	163,57	2538,532	2646,525
60	C-6	39,94	12,79	1595,59	163,57	2539,214	2646,525
61	D-1	-0,06	20,79	0,00	432,20	2534,669	2716,489
62	D-2	5,94	20,79	35,34	432,20	2535,350	2716,489
63	D-3	14,94	20,79	223,35	432,20	2536,373	2716,489
64	D-4	24,94	20,79	622,24	432,20	2537,509	2716,489
65	D-5	33,94	20,79	1152,25	432,20	2538,532	2716,489

66	D-6	39,94	20,79	1595,59	432,20	2539,214	2716,489
67	E-1	-0,06	28,79	0,00	828,83	2534,669	2786,454
68	E-2	5,94	28,79	35,34	828,83	2535,350	2786,454
69	E-3	14,94	28,79	223,35	828,83	2536,373	2786,454
70	E-4	24,94	28,79	622,24	828,83	2537,509	2786,454
71	E-5	33,94	28,79	1152,25	828,83	2538,532	2786,454
72	E-6	39,94	28,79	1595,59	828,83	2539,214	2786,454
73	F-1	-0,06	36,79	0,00	1353,46	2534,669	2856,418
74	F-2	5,94	36,79	35,34	1353,46	2535,350	2856,418
75	F-3	14,94	36,79	223,35	1353,46	2536,373	2856,418
76	F-4	24,94	36,79	622,24	1353,46	2537,509	2856,418
77	F-5	33,94	36,79	1152,25	1353,46	2538,532	2856,418
78	F-6	39,94	36,79	1595,59	1353,46	2539,214	2856,418
79	A-34'	-0,06	15,64	0,00	244,59	2534,669	2671,45
80	AB'-12'	5,94	15,64	35,34	244,59	2535,350	2671,45
81	DE'-3'	18,09	20,79	327,42	432,20	2536,731	2716,489
82	DE'-34'	14,94	24,79	223,35	614,51	2536,373	2751,472
83	DE'-34'	18,09	24,79	327,42	614,51	2536,731	2751,472
				48033,73	36290,42		

- **Lantai 3**

$$\begin{aligned}
 \text{Eksentrisitas X} &= 0,03 \text{ m} \\
 \text{Eksentrisitas Y} &= 1,14 \text{ m} \\
 M_x &= \text{Eksentrisitas X} \cdot F_3 \\
 &= 0,03 \text{ m} \cdot 161214,9 \text{ kg} \\
 &= 5621 \text{ kg.m} \\
 M_y &= \text{Eksentrisitas Y} \cdot F_3 \\
 &= 1,14 \text{ m} \cdot 161214,9 \text{ kg} \\
 &= 184377 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.6. Gaya Gempa per Kolom Lantai 3

No	As	X	Y	X ²	Y ²	FiX	FiY
1	A-1	-0,03	-1,14	0,00	1,31	4478,186	4473,125
2	A-2	5,97	-1,14	35,88	1,31	4478,944	4473,125
3	A-3	14,97	-1,14	223,96	1,31	4480,08	4473,125

4	A-4	24,97	-1,14	623,26	1,31	4481,343	4473,125
5	A-5	33,97	-1,14	1153,63	1,31	4482,479	4473,125
6	A-6	39,97	-1,14	1597,21	1,31	4483,237	4473,125
7	B-1	-0,03	6,86	0,00	47,01	4478,186	4508,555
8	B-2	5,97	6,86	35,58	47,01	4478,944	4508,555
9	B-3	14,97	6,86	223,96	47,01	4480,08	4508,555
10	B-4	24,97	6,86	623,26	47,01	4481,343	4508,555
11	B-5	33,97	6,86	1153,63	47,01	4482,479	4508,555
12	B-6	39,97	6,86	1597,21	47,01	4483,237	4508,555
13	C-1	-0,03	14,86	0,00	220,71	4478,186	4543,984
14	C-2	5,97	14,86	35,58	220,71	4478,944	4543,984
15	C-3	14,97	14,86	223,96	220,71	4480,08	4543,984
16	C-4	24,97	14,86	623,26	220,71	4481,343	4543,984
17	C-5	33,97	14,86	1153,63	220,71	4482,479	4543,984
18	C-6	39,97	14,86	1597,21	220,71	4483,237	4543,984
19	D-1	-0,03	22,86	0,00	522,41	4478,186	4579,414
20	D-2	5,97	22,86	35,58	522,41	4478,944	4579,414
21	D-3	14,97	22,86	223,96	522,41	4480,08	4579,414
22	D-4	24,97	22,86	623,26	522,41	4481,343	4579,414
23	D-5	33,97	22,86	1153,63	522,41	4482,479	4579,414
24	D-6	39,97	22,86	1597,21	522,41	4483,237	4579,414
25	E-1	-0,03	30,86	0,00	952,11	4478,186	4614,844
26	E-2	5,97	30,86	35,58	952,11	4478,944	4614,844
27	E-3	14,97	30,86	223,96	952,11	4480,08	4614,844
28	E-4	24,97	30,86	623,26	952,11	4481,343	4614,844
29	E-5	33,97	30,86	1153,63	952,11	4482,479	4614,844
30	E-6	39,97	30,86	1597,21	952,11	4483,237	4614,844
31	F-1	-0,03	38,86	0,00	1509,81	4478,186	4650,273
32	F-2	5,97	38,86	35,58	1509,81	4478,944	4650,273
33	F-3	14,97	38,86	223,96	1509,81	4480,08	4650,273
34	F-4	24,97	38,86	623,26	1509,81	4481,343	4650,273
35	F-5	33,97	38,86	1153,63	1509,81	4482,479	4650,273
36	F-6	39,97	38,86	1597,21	1509,81	4483,237	4650,273
37	A-1	-0,03	-1,14	0,00	1,31	4478,186	4473,125
38	A-2	5,97	-1,14	35,58	1,31	4478,944	4473,125
39	A-3	14,97	-1,14	223,96	1,31	4480,08	4473,125
40	A-4	24,97	-1,14	623,26	1,31	4481,343	4473,125
41	A-5	33,97	-1,14	1153,63	1,31	4482,479	4473,125
42	A-6	39,97	-1,14	1597,21	1,31	4483,237	4473,125
43	B-1	-0,03	6,86	0,00	47,01	4478,186	4508,555
44	B-2	5,97	6,86	35,58	47,01	4478,944	4508,555
45	B-3	14,97	6,86	223,96	47,01	4480,08	4508,555
46	B-4	24,97	6,86	623,26	47,01	4481,343	4508,555
47	B-5	33,97	6,86	1153,63	47,01	4482,479	4508,555
48	B-6	39,97	6,86	1597,21	47,01	4483,237	4508,555

49	C-1	-0,03	14,86	0,00	220,71	4478,186	4543,984
50	C-2	5,97	14,86	35,58	220,71	4478,944	4543,984
51	C-3	14,97	14,86	223,96	220,71	4480,08	4543,984
52	C-4	24,97	14,86	623,26	220,71	4481,343	4543,984
53	C-5	33,97	14,86	1153,63	220,71	4482,479	4543,984
54	C-6	39,97	14,86	1597,21	220,71	4483,237	4543,984
55	D-1	-0,03	22,86	0,00	522,41	4478,186	4579,414
56	D-2	5,97	22,86	35,58	522,41	4478,944	4579,414
57	D-3	14,97	22,86	223,96	522,41	4480,08	4579,414
58	D-4	24,97	22,86	623,26	522,41	4481,343	4579,414
59	D-5	33,97	22,86	1153,63	522,41	4482,479	4579,414
60	D-6	39,97	22,86	1597,21	522,41	4483,237	4579,414
61	E-1	-0,03	30,86	0,00	952,11	4478,186	4614,844
62	E-2	5,97	30,86	35,58	952,11	4478,944	4614,844
63	E-3	14,97	30,86	223,96	952,11	4480,08	4614,844
64	E-4	24,97	30,86	623,26	952,11	4481,343	4614,844
65	E-5	33,97	30,86	1153,63	952,11	4482,479	4614,844
66	E-6	39,97	30,86	1597,21	952,11	4483,237	4614,844
67	F-1	-0,03	38,86	0,00	1509,81	4478,186	4650,273
68	F-2	5,97	38,86	35,58	1509,81	4478,944	4650,273
69	F-3	14,97	38,86	223,96	1509,81	4480,08	4650,273
70	F-4	24,97	38,86	623,26	1509,81	4481,343	4650,273
71	F-5	33,97	38,86	1153,63	1509,81	4482,479	4650,273
72	F-6	39,97	38,86	1597,21	1509,81	4483,237	4650,273
73	A-34'	-0,03	17,71	0,00	313,51	4478,186	4556,606
74	AB'-12'	5,97	17,71	35,58	313,51	4478,944	4556,606
75	DE'-3'	18,12	22,86	328,16	522,41	4480,478	4579,414
76	DE'-34'	14,97	26,86	223,96	721,26	4480,08	4597,129
77	DE'-34'	18,12	26,86	328,16	721,26	4480,478	4597,129
				44519,52	41632,37		

- **Lantai 4**

$$\begin{aligned}
 \text{Eksentrisitas X} &= 0,35 \text{ m} \\
 \text{Eksentrisitas Y} &= 0,88 \text{ m} \\
 M_x &= \text{Eksentrisitas X} \cdot F_4 \\
 &= 0,35 \text{ m} \cdot 28661,3 \text{ kg} \\
 &= 75773 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \text{Eksentrisitas Y. } F_4 \\
 &= 0,88 \text{ m} \cdot 28661,3 \text{ kg} \\
 &= 193450 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.7. Gaya Gempa per Kolom Lantai 4

No	As	X	Y	X ²	Y ²	FIX	FiY
1	A-1	-0,35	-0,88	0,12	0,78	6073,322	6069,887
2	A-2	5,65	-0,88	31,96	0,78	6083,75	6069,887
3	A-3	14,65	-0,88	214,72	0,78	6099,393	6069,887
4	A-4	24,65	-0,88	607,79	0,78	6116,774	6069,887
5	A-5	33,65	-0,88	1132,56	0,78	6132,417	6069,887
6	A-6	39,65	-0,88	1572,40	0,78	6142,845	6069,887
7	B-1	-0,35	7,12	0,12	50,63	6073,322	6106,388
8	B-2	5,65	7,12	31,96	50,63	6083,75	6106,388
9	B-3	14,65	7,12	214,72	50,63	6099,393	6106,388
10	B-4	24,65	7,12	607,79	50,63	6116,774	6106,388
11	B-5	33,65	7,12	1132,56	50,63	6132,417	6106,388
12	B-6	39,65	7,12	1572,40	50,63	6142,845	6106,388
13	C-1	-0,35	15,12	0,12	228,47	6073,322	6142,89
14	C-2	5,65	15,12	31,96	228,47	6083,75	6142,89
15	C-3	14,65	15,12	214,72	228,47	6099,393	6142,89
16	C-4	24,65	15,12	607,79	228,47	6116,774	6142,89
17	C-5	33,65	15,12	1132,56	228,47	6132,417	6142,89
18	C-6	39,65	15,12	1572,40	228,47	6142,845	6142,89
19	D-1	-0,35	23,12	0,12	534,32	6073,322	6179,391
20	D-2	5,65	23,12	31,96	534,32	6083,75	6179,391
21	D-3	14,65	23,12	214,72	534,32	6099,393	6179,391
22	D-4	24,65	23,12	607,79	534,32	6116,774	6179,391
23	D-5	33,65	23,12	1132,56	534,32	6132,417	6179,391
24	D-6	39,65	23,12	1572,40	534,32	6142,845	6179,391
25	E-1	-0,35	31,12	0,12	968,16	6073,322	6215,892
26	E-2	5,65	31,12	31,96	968,16	6083,75	6215,892
27	E-3	14,65	31,12	214,72	968,16	6099,393	6215,892
28	E-4	24,65	31,12	607,79	968,16	6116,774	6215,892
29	E-5	33,65	31,12	1132,56	968,16	6132,417	6215,892
30	E-6	39,65	31,12	1572,40	968,16	6142,845	6215,892
31	F-1	-0,35	39,12	0,12	1530,01	6073,322	6252,393
32	F-2	5,65	39,12	31,96	1530,01	6083,75	6252,393
33	F-3	14,65	39,12	214,72	1530,01	6099,393	6252,393
34	F-4	24,65	39,12	607,79	1530,01	6116,774	6252,393
35	F-5	33,65	39,12	1132,56	1530,01	6132,417	6252,393

36	F-6	39,65	39,12	1572,40	1530,01	6142,845	6252,393
37	A-1	-0,35	-0,88	0,12	0,78	6073,322	6069,887
38	A-2	5,65	-0,88	31,96	0,78	6083,75	6069,887
39	A-3	14,65	-0,88	214,72	0,78	6099,393	6069,887
40	A-4	24,65	-0,88	607,79	0,78	6116,774	6069,887
41	A-5	33,65	-0,88	1132,56	0,78	6132,417	6069,887
42	A-6	39,65	-0,88	1572,40	0,78	6142,845	6069,887
43	B-1	-0,35	7,12	0,12	50,63	6073,322	6106,388
44	B-2	5,65	7,12	31,96	50,63	6083,75	6106,388
45	B-3	14,65	7,12	214,72	50,63	6099,393	6106,388
46	B-4	24,65	7,12	607,79	50,63	6116,774	6106,388
47	B-5	33,65	7,12	1132,56	50,63	6132,417	6106,388
48	B-6	39,65	7,12	1572,40	50,63	6142,845	6106,388
49	C-1	-0,35	15,12	0,12	228,47	6073,322	6142,89
50	C-2	5,65	15,12	31,96	228,47	6083,75	6142,89
51	C-3	14,65	15,12	214,72	228,47	6099,393	6142,89
52	C-4	24,65	15,12	607,79	228,47	6116,774	6142,89
53	C-5	33,65	15,12	1132,56	228,47	6132,417	6142,89
54	C-6	39,65	15,12	1572,40	228,47	6142,845	6142,89
55	D-1	-0,35	23,12	0,12	534,32	6073,322	6179,391
56	D-2	5,65	23,12	31,96	534,32	6083,75	6179,391
57	D-3	14,65	23,12	214,72	534,32	6099,393	6179,391
58	D-4	24,65	23,12	607,79	534,32	6116,774	6179,391
59	D-5	33,65	23,12	1132,56	534,32	6132,417	6179,391
60	D-6	39,65	23,12	1572,40	534,32	6142,845	6179,391
61	E-1	-0,35	31,12	0,12	968,16	6073,322	6215,892
62	E-2	5,65	31,12	31,96	968,16	6083,75	6215,892
63	E-3	14,65	31,12	214,72	968,16	6099,393	6215,892
64	E-4	24,65	31,12	607,79	968,16	6116,774	6215,892
65	E-5	33,65	31,12	1132,56	968,16	6132,417	6215,892
66	E-6	39,65	31,12	1572,40	968,16	6142,845	6215,892
67	F-1	-0,35	39,12	0,12	1530,01	6073,322	6252,393
68	F-2	5,65	39,12	31,96	1530,01	6083,75	6252,393
69	F-3	14,65	39,12	214,72	1530,01	6099,393	6252,393
70	F-4	24,65	39,12	607,79	1530,01	6116,774	6252,393
71	F-5	33,65	39,12	1132,56	1530,01	6132,417	6252,393
72	F-6	39,65	39,12	1572,40	1530,01	6142,845	6252,393
73	A-34'	-0,35	17,97	0,12	322,75	6073,322	6155,893
74	AB'-12'	5,65	17,97	31,96	322,75	6083,75	6155,893
75	DE'-3'	17,80	23,12	316,96	534,32	6104,868	6179,391
76	DE'-34'	14,65	27,12	214,72	735,24	6099,393	6197,641
77	DE'-34'	17,80	27,12	316,96	735,24	6104,868	6197,641
				43595,37	42398,71		

- **Lantai atap**

Eksentrisitas X = 0,13 m

Eksentrisitas Y = 1,16 m

M_x = Eksentrisitas X. F_5
 = 0,13 m . 208719,4 kg
 = 26449 kg.m

M_y = Eksentrisitas Y. F_5
 = 1,16 m . 208719,4 kg
 = 242387 kg.m

Tabel 4.8. Gaya Gempa per Kolom Lantai Atap

No	As	X	Y	X ²	Y ²	FIX	FIY
1	A-1	-0,13	-1,16	0,02	1,35	5797,686	5790,992
2	A-2	5,87	-1,16	34,50	1,35	5801,272	5790,992
3	A-3	14,87	-1,16	221,21	1,35	5806,652	5790,992
4	A-4	24,87	-1,16	618,68	1,35	5812,63	5790,992
5	A-5	33,87	-1,16	1147,40	1,35	5818,01	5790,992
6	A-6	39,87	-1,16	1589,88	1,35	5821,597	5790,992
7	B-1	-0,13	6,84	0,02	46,77	5797,686	5837,626
8	B-2	5,87	6,84	34,50	46,77	5801,272	5837,626
9	B-3	14,87	6,84	221,21	46,77	5806,652	5837,626
10	B-4	24,87	6,84	618,68	46,77	5812,63	5837,626
11	B-5	33,87	6,84	1147,40	46,77	5818,01	5837,626
12	B-6	39,87	6,84	1589,88	46,77	5821,597	5837,626
13	C-1	-0,13	14,84	0,02	220,19	5797,686	5884,261
14	C-2	5,87	14,84	34,50	220,19	5801,272	5884,261
15	C-3	14,87	14,84	221,21	220,19	5806,652	5884,261
16	C-4	24,87	14,84	618,68	220,19	5812,63	5884,261
17	C-5	33,87	14,84	1147,40	220,19	5818,01	5884,261
18	C-6	39,87	14,84	1589,88	220,19	5821,597	5884,261
19	D-1	-0,13	22,84	0,02	521,61	5797,686	5930,896
20	D-2	5,87	22,84	34,50	521,61	5801,272	5930,896
21	D-3	14,87	22,84	221,21	521,61	5806,652	5930,896
22	D-4	24,87	22,84	618,68	521,61	5812,63	5930,896
23	D-5	33,87	22,84	1147,40	521,61	5818,01	5930,896
24	D-6	39,87	22,84	1589,88	521,61	5821,597	5930,896
25	E-1	-0,13	30,84	0,02	951,02	5797,686	5977,531

26	E-2	5,87	30,84	34,50	951,02	5801,272	5977,531
27	E-3	14,87	30,84	221,21	951,02	5806,652	5977,531
28	E-4	24,87	30,84	618,68	951,02	5812,63	5977,531
29	E-5	33,87	30,84	1147,40	951,02	5818,01	5977,531
30	E-6	39,87	30,84	1589,88	951,02	5821,597	5977,531
31	F-1	-0,13	38,84	0,02	1508,44	5797,686	6024,165
32	F-2	5,87	38,84	34,50	1508,44	5801,272	6024,165
33	F-3	14,87	38,84	221,21	1508,44	5806,652	6024,165
34	F-4	24,87	38,84	618,68	1508,44	5812,63	6024,165
35	F-5	33,87	38,84	1147,40	1508,44	5818,01	6024,165
36	F-6	39,87	38,84	1589,88	1508,44	5821,597	6024,165
37	A-1	-0,13	-1,16	0,02	1,35	5797,686	5790,992
38	A-2	5,87	-1,16	34,50	1,35	5801,272	5790,992
39	A-3	14,87	-1,16	221,21	1,35	5806,652	5790,992
40	A-4	24,87	-1,16	618,68	1,35	5812,63	5790,992
41	A-5	33,87	-1,16	1147,40	1,35	5818,01	5790,992
42	A-6	39,87	-1,16	1589,88	1,35	5821,597	5790,992
43	B-1	-0,13	6,84	0,02	46,77	5797,686	5837,626
44	B-2	5,87	6,84	34,50	46,77	5801,272	5837,626
45	B-3	14,87	6,84	221,21	46,77	5806,652	5837,626
46	B-4	24,87	6,84	618,68	46,77	5812,63	5837,626
47	B-5	33,87	6,84	1147,40	46,77	5818,01	5837,626
48	B-6	39,87	6,84	1589,88	46,77	5821,597	5837,626
49	C-1	-0,13	14,84	0,02	220,19	5797,686	5884,261
50	C-2	5,87	14,84	34,50	220,19	5801,272	5884,261
51	C-3	14,87	14,84	221,21	220,19	5806,652	5884,261
52	C-4	24,87	14,84	618,68	220,19	5812,63	5884,261
53	C-5	33,87	14,84	1147,40	220,19	5818,01	5884,261
54	C-6	39,87	14,84	1589,88	220,19	5821,597	5884,261
55	D-1	-0,13	22,84	0,02	521,61	5797,686	5930,896
56	D-2	5,87	22,84	34,50	521,61	5801,272	5930,896
57	D-3	14,87	22,84	221,21	521,61	5806,652	5930,896
58	D-4	24,87	22,84	618,68	521,61	5812,63	5930,896
59	D-5	33,87	22,84	1147,40	521,61	5818,01	5930,896
60	D-6	39,87	22,84	1589,88	521,61	5821,597	5930,896
61	E-1	-0,13	30,84	0,02	951,02	5797,686	5977,531
62	E-2	5,87	30,84	34,50	951,02	5801,272	5977,531
63	E-3	14,87	30,84	221,21	951,02	5806,652	5977,531
64	E-4	24,87	30,84	618,68	951,02	5812,63	5977,531
65	E-5	33,87	30,84	1147,40	951,02	5818,01	5977,531
66	E-6	39,87	30,84	1589,88	951,02	5821,597	5977,531
67	F-1	-0,13	38,84	0,02	1508,44	5797,686	6024,165
68	F-2	5,87	38,84	34,50	1508,44	5801,272	6024,165
69	F-3	14,87	38,84	221,21	1508,44	5806,652	6024,165
70	F-4	24,87	38,84	618,68	1508,44	5812,63	6024,165

71	F-5	33,87	38,84	1147,40	1508,44	5818,01	6024,165
72	F-6	39,87	38,84	1589,88	1508,44	5821,597	6024,165
73	A-34'	-0,13	17,69	0,02	312,89	5797,686	5900,875
74	AB'-12'	5,87	17,69	34,50	312,89	5801,272	5900,875
75	DE'-3'	18,02	22,84	324,84	521,61	5808,535	5930,896
76	DE'-34'	14,87	26,84	221,21	720,32	5806,652	5954,213
77	DE'-34'	18,02	26,84	324,84	720,32	5808,535	5954,213
				44245,60	41580,55		

- **Lantai ruang lift**

Eksentrisitas X = 5,55 m

Eksentrisitas Y = 3,99 m

M_x
 = Eksentrisitas X. F_6
 = 5,55 m . 11024,37 kg
 = 61166 kg.m

M_y
 = Eksentrisitas Y. F_6
 = 3,99 m . 11024,37 kg
 = 43964 kg.m

Tabel 4.9. Gaya Gempa per Kolom Ruang Lift

No	As	X	Y	X ²	Y ²	FIX	FIY
1	C-1'	-5,55	12,01	30,78	144,29	688,9596	1574,769
2	CD-1'	-5,55	14,86	30,78	220,88	688,9596	1621,444
3	C-2'	0,45	12,01	0,20	144,29	1434,154	1574,769
4	CD-2'	0,45	14,86	0,20	220,88	1434,154	1621,444
5	D-23	8,10	20,01	65,64	400,48	2384,276	1705,785
6	D-23	12,23	20,01	149,62	400,48	2897,218	1705,785
7	D-34	8,10	24,01	65,64	576,58	2384,276	1771,294
8	D-34	12,23	24,01	149,62	576,58	2897,218	1771,294
				492,48	2684,48		

4.3.6. Beban Lift

Beban yang bekerja akibat pergerakan *elevator* dianggap sebagai beban terpusat akibat gaya yang bekerja terhadap berat kapasitas *elevator* sendiri yang diasumsikan *elevator* akan berhenti di setiap lantai bangunan. Sedangkan beban reaksi akibat ruang mesin *lift* dan *pit lift* sudah diketahui pada katalog sesuai dengan spesifikasi *elevator* rencana.

Tabel 4.10. Beban Reaksi Lift

Model	Hitch Beam Reaction (kg)	
	R1	R2
B1750-2S	11500	9500

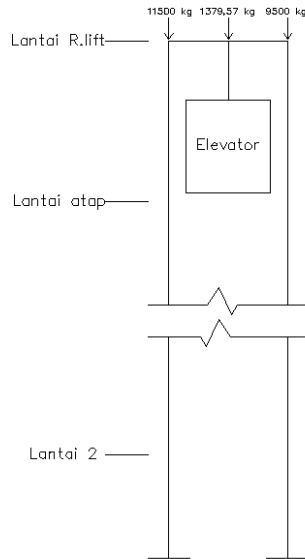
Maka besarnya gaya yang diakibatkan oleh pergerakan *elevator* dengan kecepatan konstan (GLB), adalah:

Dengan asumsi massa lift adalah 1000 kg.

$$\begin{aligned}
 \sum f_y &= 0 \\
 N - W &= 0 \\
 N &= W = m \cdot g \\
 N &= W = 1000 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 9810 \text{ N} = 9,81 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Besarnya gaya akibat koefisien kejut, adalah:

$$\begin{aligned}
 \bar{N} &= \left(1 + \frac{20}{(50 + L)}\right) \times N \\
 \bar{N} &= \left(1 + \frac{20}{(50 + 2,775)}\right) \times 9,81 \text{ kN} \\
 \bar{N} &= 13,53 \text{ kN} = 1379,57 \text{ kg}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.5. Beban-beban yang Bekerja pada Balok Lift

4.4. Perhitungan Struktur

4.4.1. Pelat

4.4.1.1. Pelat Lantai

Pada analisa perhitungan pelat lantai yang ditinjau adalah pada pelat lantai 2 dengan ukuran 6 m x 4 m dan berfungsi sebagai ruang pasien.

➤ Data-data perencanaan:

Tipe pelat	= S2-1
Mutu beton (f_c')	= 25 MPa
Mutu baja tul. lentur (f_y)	= 400 MPa
Mutu baja tul. Geser (f_y)	= 320 MPa
β	= 0,85
ϕ	= 0,8

$$L_y = 6 \text{ m}$$

$$L_x = 4 \text{ m}$$

➤ Perhitungan penulangan pelat:

- Tipe pelat

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{6 \text{ m}}{4 \text{ m}} = 1,5 \leq 2 \quad (\text{Two Way Slab})$$

- Pembebanan pelat

a. Beban Mati				
	Berat sendiri (t = 12 cm)	=	288 kg/m ²	
	Spesi (t = 2cm)	=	46 kg/m ²	23
	Keramik (t = 1cm)	=	16,5 kg/m ²	16,5
	Plafond + penggantung	=	16,4 kg/m ²	
	Mekanikal Elektrikal	=	19 kg/m ²	
	Plumbing	=	25 kg/m ²	
		Q _{DL}	=	410,9 kg/m ²
b. Beban Hidup				
	Rumah sakit	=	192 kg/m ²	
		Q _{LL}	=	192 kg/m ²
c. Beban Ultimate				
	Q _u	=	1,2 Q _{DL} + 1,6 Q _{LL}	Q _{LL}
		=	800,28 kg/m ²	

- Momen pada pelat

Perhitungan momen berdasarkan tabel pada PBI 1971 dengan tipe pelat terjepit penuh.

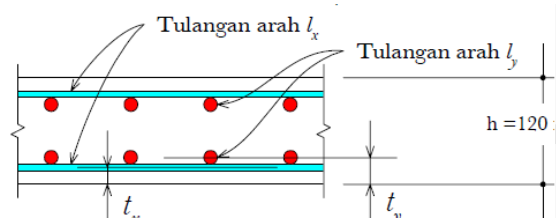
Momen		X		
Lapangan	M _{Lx}	36	0,001*Qu*L _x ² *X=	460,96 kg.m
	M _{Ly}	17	0,001*Qu*L _x ² *X=	217,68 kg.m
Tumpuan	M _{Tx}	76	0,001*Qu*L _x ² *X=	973,14 kg.m
	M _{Ty}	57	0,001*Qu*L _x ² *X=	729,86 kg.m

- Perhitungan:

$$\text{Tebal decking} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{D tulangan rencana} = 10 \text{ mm}$$

Tinggi Manfaat:



$$\begin{aligned} d_x &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - (1/2 d_{\text{rencana}}) \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - d_{\text{rencana}} - (1/2 d_{\text{rencana}}) \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0,85}{400 \text{ MPa}} \right) \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \cdot 25 \text{ MPa}} \\ &= 18,824 \end{aligned}$$

- **Tulangan Tumpuan**

- **Arah X**

$$M_u = 973,14 \text{ kg.m} = 9731405 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u / \phi &&= 9731405 \text{ N.mm} / 0,8 \\
 &&&= 10812672 \text{ N.mm} \\
 Rn &= \frac{Mn}{b.d.x^2} &&= \frac{10812672 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (95 \text{ mm})^2} \\
 &&&= 1,2 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{fy}} \right) \\
 \rho &= \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.18,824.1,2 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) \\
 &&&= 0,0031
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\min} \\
 0,0035 > 0,0031 < 0,0203 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

Sesuai *SNI 2847-2013 pasal 10.5.3* sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,0031 \times 1,3 = 0,0040$

$$\begin{aligned}
 A_{S\text{perlu}} &= \rho \cdot b \cdot d = 0,0040 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm} \\
 &= 380,97 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{\text{maks}} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-10**

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} \\
 S &= \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{380,97 \text{ mm}^2}
 \end{aligned}$$

$$S = 206,16 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{tul}} \\ 240 \text{ mm} &> 200 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Tulangan yang dipakai : **D10-200 mm**

$$\begin{aligned} A_{\text{Spakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 2000 \text{ mm}) \\ &= 392,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{\text{Spakai}} &> A_{\text{Sperlu}} \\ 392,7 \text{ mm}^2 &> 380,97 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai Tumpuan arah X digunakan **D10-200 mm**.

- **Arah Y**

$$M_u = 729,86 \text{ kg.m} = 7298554 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \phi \\ &= \frac{7298554 \text{ N.mm}}{0,8} \\ &= 8109504 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d x^2} = \frac{8109504 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (85 \text{ mm})^2} \\ &= 1,12 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 1,12 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) \\ &= 0,0029 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{min}} &< \rho < \rho_{\text{min}} \\ 0,0035 &> 0,0029 < 0,0203 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,0029 \times 1,3 = 0,00375$

$$\begin{aligned} A_{\text{perlu}} &= \rho \cdot b \cdot d = 0,00375 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \text{ mm} \\ &= 318,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{\text{maks}} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-10**

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{318,72 \text{ mm}^2}$$

$$S = 246,62 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 240 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{tul}}$$

$$240 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Tulangan yang dipakai : **D10-240 mm**

$$\begin{aligned} A_{\text{pakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 240 \text{ mm}) \\ &= 327,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$A_{\text{pakai}} > A_{\text{perlu}}$$

$$327,25 \text{ mm}^2 > 318,72 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai Tumpuan arah Y digunakan **D10-240 mm**.

• Tulangan Lapangan

- **Arah X**

$$M_u = 460,96 \text{ kg.m} = 4609613 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u / \phi &= 4609613 \text{ N.mm} / 0,8 \\
 &&= 5121792 \text{ N.mm} \\
 Rn &= \frac{Mn}{b.d x^2} &= \frac{5121792 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (95 \text{ mm})^2} \\
 &&= 0,57 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{f_y}} \right) \\
 \rho &= \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.18,824.0,57 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) \\
 &= 0,0014
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\min} \\
 0,0035 &> 0,0014 < 0,0203 & \textbf{(Tidak Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,0014 \times 1,3 = 0,0019$

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} &= \rho.b.d = 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm} \\
 &= 332,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-10**

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} \\
 S &= \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{332,5 \text{ mm}^2} \\
 S &= 236,21 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &\geq S_{\text{tul}} \\
 240 \text{ mm} &> 200 \text{ mm} & \textbf{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Tulangan yang dipakai : **D10-200 mm**

$$\begin{aligned} A_{spakai} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 200 \text{ mm}) \\ &= 392,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{spakai} &> A_{sperlu} \\ 392,7 \text{ mm}^2 &> 332,5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai Lapangan arah X digunakan **D10-200 mm**.

- **Arah Y**

$$\begin{aligned} M_u &= 217,68 \text{ kg.m} = 2176762 \text{ N.mm} \\ M_n &= M_u / \phi = \frac{2176762 \text{ N.mm}}{0,8} \\ &= 2418624 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d \cdot x^2} = \frac{24186624 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (85 \text{ mm})^2} \\ &= 0,33 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,33 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) \\ &= 0,0008 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\min} \\ 0,0035 &> 0,0008 < 0,0203 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,0008 \times 1,3 = 0,0011$

$$\begin{aligned} A_{sperlu} &= \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \text{ mm} \\ &= 297,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-10**

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{297,5 \text{ mm}^2}$$

$$S = 264 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 240 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{tul}}$$

$$240 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Tulangan yang dipakai : **D10-240 mm**

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 240 \text{ mm}) \\ &= 327,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$A_{S_{\text{pakai}}} > A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$327,25 \text{ mm}^2 > 297,5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai Lapangan arah Y digunakan **D10-240 mm**.

- Kesimpulan penulangan.

Tumpuan	Arah X	D10 – 200 mm
	Arah Y	D10 – 240 mm
Lapangan	Arah X	D10 – 200 mm
	Arah Y	D10 – 240 mm

- Kontrol:

• Kontrol Lendutan dan Retak Beton

Modulus elastisitas beton (E_c)

$$E_c = 4700\sqrt{f'c} = 4700\sqrt{25 \text{ MPa}}$$

$$E_c = 23500 \text{ MPa}$$

Modulus elastisitas baja ($E_s = 200000 \text{ MPa}$)

Rasio modulus elastisitas (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000 \text{ MPa}}{23500 \text{ MPa}}$$

$$n = 8,51$$

Batas lendutan maksimal (Δ_{ijin})

$$\Delta_{ijin} = \frac{lx}{240} = \frac{4000 \text{ mm}}{240 \text{ mm}}$$

$$\Delta_{ijin} = 16,67 \text{ mm}$$

Momen inersia pelat (I_g)

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot (120 \text{ mm})^3 \\ &= 144.000.000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Jarak garis netral terhadap sisi atas (c)

$$c = n \cdot \frac{A_s \text{ pakai}}{b}$$

$$c = 8,51 \cdot \frac{392,7 \text{ mm}^2}{1000 \text{ mm}}$$

$$c = 3,342 \text{ mm}$$

Momen inersia penampang retak

$$I_{cr} = \frac{E_s}{E_c} \left[A_s + \frac{P_u}{f_y} \frac{h}{2d} \right] (d - c)^2 + \frac{Lx \cdot c^2}{3}$$

$$\begin{aligned} I_{cr} &= 8,51 [392,7 \text{ mm}^2 + 0] (95 \text{ mm} - 3,342 \text{ mm})^2 \\ &\quad + \frac{4000 \text{ mm} \cdot 3,342^2}{3} \end{aligned}$$

$$I_{cr} = 28127481,22 \text{ mm}^4$$

Beban terfaktor merata

$$Q_u = 800,28 \text{ kg/mm}^2$$

$$Q_u = 0,0080028 \text{ N/mm}^2$$

Momen maksimum (M_a)

$$M_a = \frac{1}{8} \cdot Q_u \cdot Lx^2$$

$$M_a = \frac{1}{8} \cdot 800,28 \text{ kg/mm}^2 \cdot (4000 \text{ mm})^2$$

$$M_a = 1600,56 \text{ kg.m}$$

$$M_a = 16005600 \text{ N.mm}$$

Modulus keruntuhan beton (f_r)

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f'c'}$$

$$f_r = 0,62 \cdot 1 \cdot \sqrt{25 \text{ MPa}}$$

$$f_r = 3,1 \text{ MPa}$$

Momen retak (M_{cr})

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t}$$

$$M_{cr} = \frac{3,1 \text{ MPa} \cdot 144000000 \text{ mm}^4}{120 \text{ mm}/2}$$

$$M_{cr} = 7.440.000 \text{ N.mm}$$

Momen inersia (I_e)

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \cdot I_{cr}$$

$$I_e = \left(\frac{7.440.000 \text{ N.mm}}{16005600 \text{ N.mm}}\right)^3 \cdot 144000000 \text{ mm}^4 + \left[1 - \left(\frac{7.440.000 \text{ N.mm}}{16005600 \text{ N.mm}}\right)^3\right] \cdot 28127481,22 \text{ mm}^4$$

$$I_e = 39765615,8 \text{ mm}^4$$

Lendutan elastis (δ_e)

$$\delta_e = \frac{5}{384} \left(\frac{Q_u \cdot Lx^4}{E_c \cdot I_e} \right)$$

$$\delta e = \frac{5}{384} \left(\frac{0,0080028 \text{ N/mm}^2 \cdot (4000 \text{ mm})^4}{23500 \text{ MPa} \cdot 39765615,8 \text{ mm}^4} \right)$$

$$\delta e = 0,02855 \text{ mm}$$

Rasio tulangan slab lantai (ρ)

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\rho = \frac{392,7 \text{ mm}^2}{1000 \text{ mm} \cdot 95 \text{ mm}}$$

$$\rho = 0,00413$$

Faktor ketergantungan waktu ≥ 5 tahun

$$\xi = 2$$

$$\lambda = \frac{\xi}{(1 + 50\rho)}$$

$$\lambda = \frac{2}{(1 + 50 \cdot 0,00413)}$$

$$\lambda = 1,657$$

Lendutan jangka waktu 5 tahun

$$\delta g = \lambda \frac{5}{384} \left(\frac{Q_u \cdot l x^4}{E_c \cdot I_e} \right)$$

$$\delta g = 1,657 \cdot \frac{5}{384} \left(\frac{0,0080028 \text{ N/mm}^2 \cdot (4000 \text{ mm})^4}{23500 \text{ MPa} \cdot 39765615,8 \text{ mm}^4} \right)$$

$$\delta g = 0,04731 \text{ mm}$$

Lendutan total

$$\begin{aligned} \delta_{\text{tot}} &= \delta_e + \delta_g \\ &= 0,02855 \text{ mm} + 0,04731 \text{ mm} \\ &= 0,07586 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl} \delta_{\text{tot}} & < & \Delta_{\text{ijin}} \\ 0,07586 \text{ mm} & < & 16,67 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)} \end{array}$$

Tegangan ijin pada tulangan (f_s)

$$f_s = 0,6f_y = 0,6.400 \text{ MPa}$$

$$= 240 \text{ MPa}$$

$$d_c = t_{\text{selimut}} - \frac{1}{2} d_{\text{tul}}$$

$$= 20 \text{ mm} - (\frac{1}{2}.10 \text{ mm})$$

$$= 15 \text{ mm}$$

Luas efektif beton tarik (A_e)

$$A_e = 2.d_c.s_{\text{tul}}$$

$$= 2.15 \text{ mm}.200 \text{ mm}$$

$$= 6000 \text{ mm}^2$$

Nilai lebar retak (ω)

$$\omega = 11.10^{-6} \beta f_s^3 \sqrt{d_c.A_e}$$

$$\omega = 11.10^{-6} . 0,85.240 \text{ MPa}^3 \sqrt{15 \text{ mm}. 6000 \text{ mm}^2}$$

$$\omega = 0,101 \text{ mm}$$

Syarat:

$$\omega < 0,4 \text{ mm}$$

$$0,101 \text{ mm} < 0,4 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

4.4.1.2. Pelat Atap

Pada analisa perhitungan pelat atap yang ditinjau adalah pada pelat atap dengan ukuran 4,5 m x 4 m dan berfungsi sebagai atap datar.

➤ Data-data perencanaan:

$$\text{Tipe pelat} = S_{\text{atap-2}}$$

$$\text{Mutu beton (fc')} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja tul. lentur (fy)} = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja tul. Geser (fy)} = 320 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85$$

$$\phi = 0,8$$

$$L_y = 4,5 \text{ m}$$

$$L_x = 4 \text{ m}$$

➤ Perhitungan penulangan pelat:

- Tipe pelat

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{4,5 \text{ m}}{4 \text{ m}} = 1,1 \leq 2 \quad \text{(Two Way Slab)}$$

- Pembebanan pelat

a. Beban Mati				
	Berat sendiri (t = 12 cm)	=	288 kg/m ²	23
	Spesi (t = 2cm)	=	46 kg/m ²	
	Plafond + penggantung	=	16,4 kg/m ²	
	Mekanikal Elektrikal	=	19 kg/m ²	
	Waterproofing	=	7 kg/m ²	
Q _{DL}			=	376,4 kg/m ²
b. Beban Hidup				
	Atap datar	=	96 kg/m ²	
Q _{LL}			=	96 kg/m ²
c. Beban Ultimate				
	Q _u	=	1,2 Q _{DL} + 1,6 Q _{LL}	
		=	605,28 kg/m ²	

- Momen pada pelat

Perhitungan momen berdasarkan tabel pada PBI 1971 dengan tipe pelat terjepit penuh.

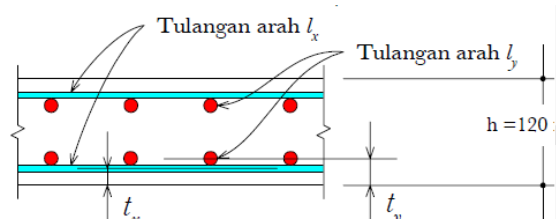
Momen		X		
Lapangan	M _{Lx}	25	0,001*Qu*L _x ² *X=	242,11 kg.m
	M _{Ly}	21	0,001*Qu*L _x ² *X=	203,37 kg.m
Tumpuan	M _{Tx}	59	0,001*Qu*L _x ² *X=	571,38 kg.m
	M _{Ty}	54	0,001*Qu*L _x ² *X=	522,96 kg.m

- Perhitungan:

Tebal decking = 20 mm

D tulangan rencana = 10 mm

Tinggi Manfaat:



$$\begin{aligned} d_x &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - (1/2 d_{\text{rencana}}) \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - d_{\text{rencana}} - (1/2 d_{\text{rencana}}) \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0,85}{400 \text{ MPa}} \right) \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \cdot 25 \text{ MPa}} \\ &= 18,824 \end{aligned}$$

- **Tulangan Tumpuan**

- **Arah X**

$$M_u = 571,38 \text{ kg.m} = 5713843 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u / \phi &= 5713843 \text{ N.mm} / 0,8 \\
 &&= 6348715 \text{ N.mm} \\
 Rn &= \frac{Mn}{b.dx^2} &= \frac{6348715 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (95 \text{ mm})^2} \\
 &&= 0,7 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{fy}} \right) \\
 \rho &= \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.18,824.0,7 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) \\
 &= 0,0018
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &> 0,0018 < 0,0203 & \textbf{(Tidak Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,0018 \times 1,3 = 0,0023$

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} &= \rho.b.d = 0,0023 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm} \\
 &= 332,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\max} \leq 2h$

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 2(120 \text{ mm}) \\
 S_{\max} &= 240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan **D-10**

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} \\
 S &= \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{332,5 \text{ mm}^2} \\
 S &= 236,21 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &\geq S_{\text{tul}} \\
 240 \text{ mm} &> 200 \text{ mm} & \textbf{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Tulangan yang dipakai : **D10-200 mm**

$$\begin{aligned} A_{\text{Spakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \left(\frac{b}{s}\right) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot \left(\frac{1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}\right) \\ &= 392,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{\text{Spakai}} &> A_{\text{Sperlu}} \\ 392,7 \text{ mm}^2 &> 332,5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, untuk tulangan pelat atap Tumpuan arah X digunakan **D10-200 mm**.

- **Arah Y**

$$M_u = 522,96 \text{ kg.m} = 5229619 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned} M_n = M_u / \phi &= 5229619 \text{ N.mm} / 0,8 \\ &= 5810688 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n = \frac{M_n}{b \cdot d x^2} &= \frac{5810688 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (85 \text{ mm})^2} \\ &= 0,80 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,80 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) \\ &= 0,0021 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\min} \\ 0,0035 &> 0,0021 < 0,0203 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,0021 \times 1,3 = 0,00267$

$$\begin{aligned} A_{\text{Sperlu}} &= \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \text{ mm} \\ &= 297,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{\text{maks}} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-10**

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{297,5 \text{ mm}^2}$$

$$S = 264 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 240 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$\begin{array}{rcl} S_{\text{maks}} & \geq & S_{\text{tul}} \\ 240 \text{ mm} & > & 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{array}$$

Tulangan yang dipakai : **D10-240 mm**

$$\begin{aligned} A_{s\text{pakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 240 \text{ mm}) \\ &= 327,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{array}{rcl} A_{s\text{pakai}} & > & A_{s\text{perlu}} \\ 327,25 \text{ mm}^2 & > & 318,72 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{array}$$

Jadi, untuk tulangan pelat atap Tumpuan arah Y digunakan **D10-240 mm**.

• Tulangan Lapangan

- **Arah X**

$$M_u = 242,11 \text{ kg.m} = 2421120 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \phi &= 2421129 \text{ N.mm} / 0,8 \\ & &= 2690133 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d x^2} &= \frac{2690133 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (95 \text{ mm})^2} \\ & &= 0,30 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.18,824.0,30 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$= 0,0008$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0008 < 0,0203 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,0008 \times 1,3 = 0,0010$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$$

$$= 332,5 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-10**

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{332,5 \text{ mm}^2}$$

$$S = 236,21 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$S_{\max} \geq S_{\text{tul}}$$

$$240 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Tulangan yang dipakai : **D10-200 mm**

$$A_{s\text{pakai}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s)$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 200 \text{ mm})$$

$$= 392,7 \text{ mm}^2$$

Syarat luas tulangan:

$$A_{s\text{pakai}} > A_{s\text{perlu}}$$

$$392,7 \text{ mm}^2 > 332,5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai Lapangan arah X digunakan **D10-200 mm**.

- **Arah Y**

$$M_u = 203,37 \text{ kg.m} = 2033741 \text{ N.mm}$$

$$M_n = M_u / \phi = \frac{2033741 \text{ N.mm}}{0,8} = 2259712 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b.dx^2} = \frac{2259712 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (85 \text{ mm})^2} = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,31 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) = 0,0008$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0008 < 0,0203 \quad \text{(Tidak Memenuhi)}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,0008 \times 1,3 = 0,0010$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \text{ mm} = 297,5 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-10**

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{297,5 \text{ mm}^2}$$

$$S = 264 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 240 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$\begin{array}{rcl} S_{\text{maks}} & \geq & S_{\text{tul}} \\ 240 \text{ mm} & > & 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{array}$$

Tulangan yang dipakai : **D10-240 mm**

$$\begin{aligned} A_{\text{Spakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 240 \text{ mm}) \\ &= 327,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{array}{rcl} A_{\text{Spakai}} & > & A_{\text{Sperlu}} \\ 327,25 \text{ mm}^2 & > & 297,5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{array}$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai Lapangan arah Y digunakan **D10-240 mm**.

- Kesimpulan penulangan.

Tumpuan	Arah X	D10 – 200 mm
	Arah Y	D10 – 240 mm
Lapangan	Arah X	D10 – 200 mm
	Arah Y	D10 – 240 mm

- Kontrol:

• Kontrol Lendutan dan Retak Beton

Modulus elastisitas beton (E_c)

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{25 \text{ MPa}}$$

$$E_c = 23500 \text{ MPa}$$

Modulus elastisitas baja ($E_s = 200000 \text{ MPa}$)

Rasio modulus elastisitas (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000 \text{ MPa}}{23500 \text{ MPa}}$$

$$n = 8,51$$

Batas lendutan maksimal (Δ_{ijin})

$$\Delta_{ijin} = \frac{lx}{240} = \frac{4000 \text{ mm}}{240 \text{ mm}}$$

$$\Delta_{ijin} = 16,67 \text{ mm}$$

Momen inersia pelat (I_g)

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot (120 \text{ mm})^3 \\ &= 144.000.000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Jarak garis netral terhadap sisi atas (c)

$$c = n \cdot \frac{As \text{ pakai}}{b}$$

$$c = 8,51 \cdot \frac{392,7 \text{ mm}^2}{1000 \text{ mm}}$$

$$c = 3,342 \text{ mm}$$

Momen inersia penampang retak

$$I_{cr} = \frac{Es}{Ec} \left[As + \frac{Pu}{fy} \frac{h}{2d} \right] (d - c)^2 + \frac{Lx \cdot c^2}{3}$$

$$\begin{aligned} I_{cr} &= 8,51 [392,7 \text{ mm}^2 + 0] (95 \text{ mm} - 3,342 \text{ mm})^2 \\ &\quad + \frac{4000 \text{ mm} \cdot 3,342^2}{3} \end{aligned}$$

$$I_{cr} = 28127481,22 \text{ mm}^4$$

Beban terfaktor merata

$$Q_u = 800,28 \text{ kg/mm}^2$$

$$Q_u = 0,0080028 \text{ N/mm}^2$$

Momen maksimum (Ma)

$$Ma = \frac{1}{8} \cdot Q_u \cdot Lx^2$$

$$Ma = \frac{1}{8} \cdot 800,28 \text{ kg/mm}^2 \cdot (4000 \text{ mm})^2$$

$$Ma = 1600,56 \text{ kg.m}$$

$$Ma = 16005600 \text{ N.mm}$$

Modulus keruntuhan beton (f_r)

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f_c'}$$

$$f_r = 0,62.1.\sqrt{25 \text{ MPa}}$$

$$f_r = 3,1 \text{ MPa}$$

Momen retak (M_{cr})

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t}$$

$$M_{cr} = \frac{3,1 \text{ MPa} \cdot 144000000 \text{ mm}^4}{120 \text{ mm}/2}$$

$$M_{cr} = 7.440.000 \text{ N.mm}$$

Momen inersia (I_e)

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{Ma}\right)^3 \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{Ma}\right)^3\right] \cdot I_{cr}$$

$$I_e = \left(\frac{7.440.000 \text{ N.mm}}{16005600 \text{ N.mm}}\right)^3 \cdot 144000000 \text{ mm}^4 + \left[1 - \left(\frac{7.440.000 \text{ N.mm}}{16005600 \text{ N.mm}}\right)^3\right] \cdot 28127481,22 \text{ mm}^4$$

$$I_e = 39765615,8 \text{ mm}^4$$

Lendutan elastis (δ_e)

$$\delta_e = \frac{5}{384} \left(\frac{Qu \cdot lx^4}{Ec \cdot I_e} \right)$$

$$\delta_e = \frac{5}{384} \left(\frac{0,0080028 \text{ N/mm}^2 \cdot (4000 \text{ mm})^4}{23500 \text{ MPa} \cdot 39765615,8 \text{ mm}^4} \right)$$

$$\delta_e = 0,02855 \text{ mm}$$

Rasio tulangan slab lantai (ρ)

$$\rho = \frac{As}{b \cdot d}$$

$$\rho = \frac{392,7 \text{ mm}^2}{1000 \text{ mm} \cdot 95 \text{ mm}}$$

$$\rho = 0,00413$$

Faktor ketergantungan waktu ≥ 5 tahun

$$\xi = 2$$

$$\lambda = \frac{\xi}{(1 + 50\rho)}$$

$$\lambda = \frac{2}{(1 + 50.0,00413)}$$

$$\lambda = 1,657$$

Lendutan jangka waktu 5 tahun

$$\delta g = \lambda \frac{5}{384} \left(\frac{Qu \cdot lx^4}{Ec \cdot Ie} \right)$$

$$\delta g = 1,657 \cdot \frac{5}{384} \left(\frac{0,0080028 \text{ N/mm}^2 \cdot (4000 \text{ mm})^4}{23500 \text{ MPa} \cdot 39765615,8 \text{ mm}^4} \right)$$

$$\delta g = 0,04731 \text{ mm}$$

Lendutan total

$$\begin{aligned} \delta_{\text{tot}} &= \delta_e + \delta_g \\ &= 0,02855 \text{ mm} + 0,04731 \text{ mm} \\ &= 0,07586 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl} \delta_{\text{tot}} & < & \Delta_{\text{ijin}} \\ 0,07586 \text{ mm} & < & 16,67 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)} \end{array}$$

Tegangan ijin pada tulangan (f_s)

$$\begin{aligned} f_s &= 0,6f_y = 0,6.400 \text{ MPa} \\ &= 240 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_c &= t_{\text{selimut}} - \frac{1}{2} d_{\text{tul}} \\ &= 20 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 10 \text{ mm}) \\ &= 15 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas efektif beton tarik (A_e)

$$\begin{aligned} A_e &= 2 \cdot d_c \cdot s_{\text{tul}} \\ &= 2 \cdot 15 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm} \\ &= 6000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai lebar retak (ω)

$$\omega = 11 \cdot 10^{-6} \beta f_s^3 \sqrt{d_c \cdot A_e}$$

$$\omega = 11 \cdot 10^{-6} \cdot 0,85 \cdot 240 \text{ MPa}^3 \sqrt{15 \text{ mm} \cdot 6000 \text{ mm}^2}$$

$$\omega = 0,101 \text{ mm}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl} \omega & < & 0,4 \text{ mm} \\ 0,101 \text{ mm} & < & 0,4 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)} \end{array}$$

4.4.2. Tangga dan Bordes

4.4.2.1. Tangga Utama

Dalam perhitungan penulangan pelat tangga utama, tangga yang dipilih adalah tangga penghubung lantai 1 dengan lantai 2. Untuk menghitung penulangan pelat tangga dan pelat bordes, menentukan momen yang terjadi pada pelat dengan 2 cara yaitu dihitung dengan menggunakan metode *cross* dan berdasarkan pada *output* aplikasi SAP 2000. Dari kedua hasil momen tersebut diambil nilai terbesar untuk menghitung penulangan pelat tangga dan pelat bordes.

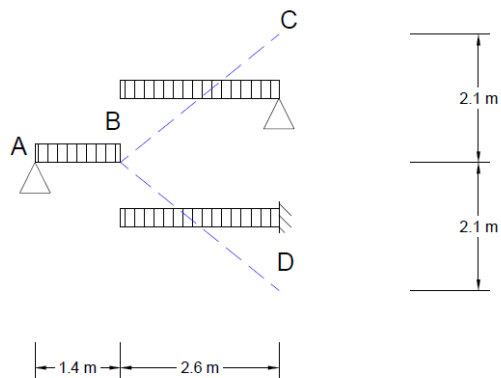
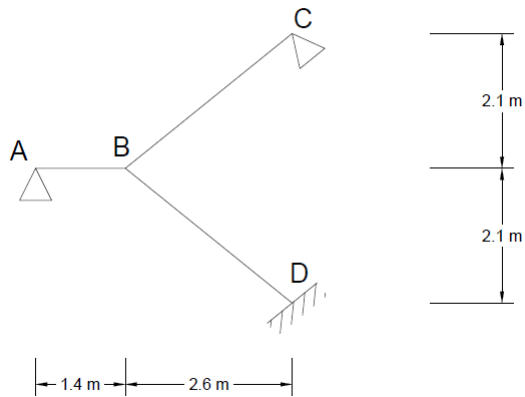
➤ Data-data perencanaan:

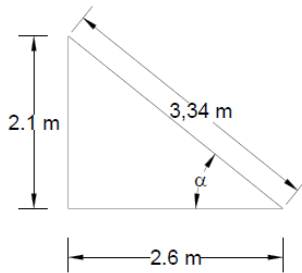
Tipe pelat	= Tangga Utama-1
Mutu beton (f_c')	= 25 MPa
Mutu baja tul. lentur (f_y)	= 400 MPa
Mutu baja tul. Geser (f_y)	= 320 MPa
β	= 0,85
ϕ	= 0,8
Tebal pelat tangga	= 20 cm
Tebal pelat bordes	= 15 cm
Diameter tulangan lentur	= 10 mm
Diameter tulangan susut	= 8 mm

➤ Perhitungan penulangan pelat:

- Momen pelat:

• **Metode Cross**





$$\sin \alpha = \frac{2,1 \text{ m}}{3,34 \text{ m}} = 0,629$$

$$\cos \alpha = \frac{2,6 \text{ m}}{3,34 \text{ m}} = 0,778$$

$$\text{Panjang miring tangga} = \sqrt{(2,6)^2 + (2,1)^2} = 3,34 \text{ m}$$

Pembebanan :

Pelat tangga

$$Q_{DL} = 720 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_{LL} = 479 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_u = 1,2 Q_{DL} + 1,6 Q_{LL} = 1630,4 \text{ kg/m}^2$$

Pelat bordes

$$Q_{DL} = 453 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_{LL} = 479 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_u = 1,2 Q_{DL} + 1,6 Q_{LL} = 1310 \text{ kg/m}^2$$

Beban merata yang terjadi pelat :

q tangga

$$\begin{aligned} q &= Q_u \times L_{\text{tangga}} \\ &= 1630,4 \text{ kg/m}^2 \times 1,7 \text{ m} \\ &= 2771,68 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{datar}} &= \frac{q_{\text{tangga}}}{\cos \alpha} \\ &= \frac{2771,68 \text{ kg/m}}{0,778} \\ &= 3560,54 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

q bordes

$$\begin{aligned} q &= Q_u \times L_{\text{tangga}} \\ &= 1310 \text{ kg/m}^2 \times 1,7 \text{ m} \\ &= 2227 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Faktor distribusi (μ)

$$\begin{aligned}\mu_{BA} : \mu_{BC} : \mu_{BD} &= \frac{3 EI}{1,4 m} : \frac{3 EI}{2,6 m} : \frac{4 EI}{2,6 m} \\ &= 2,143EI : 1,154EI : 1,538EI\end{aligned}$$

$$\mu_{BA} = \frac{2,145 EI}{2,143EI + 1,154EI + 1,538EI} = 0,433$$

$$\mu_{BC} = \frac{1,154 EI}{2,143EI + 1,154EI + 1,538EI} = 0,239$$

$$\mu_{BD} = \frac{1,538 EI}{2,143EI + 1,154EI + 1,538EI} = 0,318$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}\sum \mu &= 1 \\ 0,443 + 0,239 + 0,318 &= 1 \quad \text{(OK)}\end{aligned}$$

Momen primair (MF)

$$\begin{aligned}MF_{BA} &= -\frac{1}{8} \cdot Q \cdot L^2 \\ &= -\frac{1}{8} \cdot 2227 \text{ kg/m} \cdot (1,4 \text{ m})^2 \\ &= -545,615 \text{ kg.m}\end{aligned}$$





$$\begin{aligned}MF_{BC} &= +\frac{1}{8} \cdot Q \cdot L^2 \\ &= +\frac{1}{8} \cdot 3560,48 \text{ kg/m} \cdot (2,6 \text{ m})^2 \\ &= +3008,606 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}MF_{BD} &= +\frac{1}{12} \cdot Q \cdot L^2 \\ &= +\frac{1}{12} \cdot 3560,48 \text{ kg/m} \cdot (2,6 \text{ m})^2 \\ &= +2005,737 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

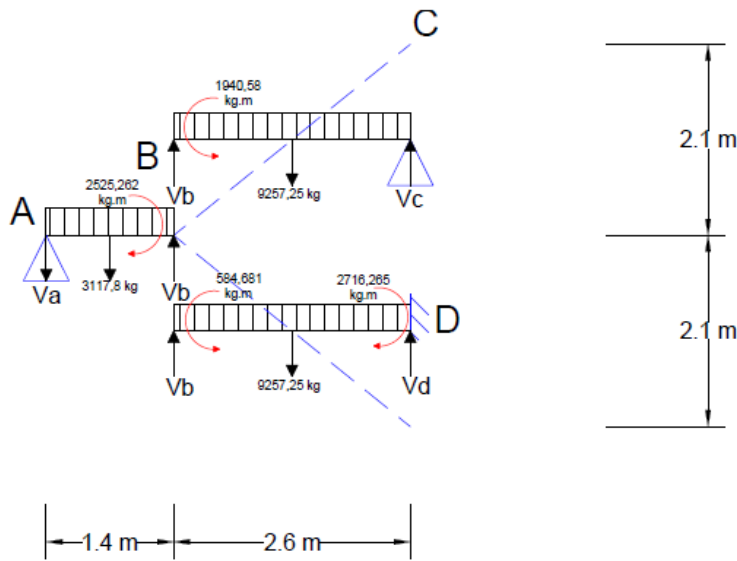
$$\begin{aligned}MF_{DB} &= -\frac{1}{12} \cdot Q \cdot L^2 \\ &= -\frac{1}{12} \cdot 3560,48 \text{ kg/m} \cdot (2,6 \text{ m})^2 \\ &= -2005,737 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

Tabel Cross

Tabel 4.11. Tabel Perhitungan Cross Tangga

Titik	B			D
Batang	BA	BC	BD	DB
FD	-0,443	-0,239	-0,318	-
MF	-545,615	3008,606	2005,737	-2005,737
MD	-1979,647	-1068,026	-1421,056	0
MI	0	0	0	-710,528
MD	0	0	0	0
Momen Akhir	-2525,262	1940,58	584,681	-2716,265
				

Free Body Diagram



Batang AB

$$\begin{aligned}
 \sum M_A &= 0 & V_B \text{ misal } \uparrow \\
 -V_B \cdot L + Q \cdot \frac{1}{2} \cdot L + M_{BA} &= 0 \\
 -V_B \cdot 1,4 \text{ m} + 3117,8 \text{ kg} \cdot 0,7 \text{ m} + 2525,262 \text{ kg} \cdot \text{m} &= 0 \\
 V_B &= 3362,659 \text{ kg} \quad \uparrow \\
 V_A &= 244,859 \text{ kg} \quad \downarrow
 \end{aligned}$$

Batang BC

$$\begin{aligned}
 \sum M_C &= 0 & V_B \text{ misal } \uparrow \\
 V_B \cdot L - M_{BC} - Q \cdot \frac{1}{2} \cdot L &= 0 \\
 V_B \cdot 2,6 \text{ m} - 1940,58 \text{ kg} \cdot \text{m} - 9275,25 \cdot 1,3 \text{ m} &= 0 \\
 V_B &= 5375,002 \text{ kg} \quad \uparrow \\
 V_C &= 3882,248 \text{ kg} \quad \uparrow
 \end{aligned}$$

Batang BD

$$\begin{aligned}
 \sum M_D &= 0 & V_B \text{ misal } \uparrow \\
 V_B \cdot L - M_{BD} - Q \cdot \frac{1}{2} \cdot L + M_{DB} &= 0 \\
 V_B \cdot 2,6 \text{ m} - 584,682 \text{ kg} \cdot \text{m} - 9257,25 \cdot 1,3 \text{ m} + 2716,265 \text{ kg} \cdot \text{m} &= 0 \\
 V_B &= 3808,785 \text{ kg} \quad \uparrow \\
 V_A &= 5448,465 \text{ kg} \quad \uparrow
 \end{aligned}$$

Momen MaksimalBatang CB

$$\begin{aligned}
 D &= 0 \\
 0 &= -V_C + q \cdot x \\
 0 &= -3882,248 \text{ kg} + 3560,48 \text{ kg/m} \cdot x \\
 x &= 1,090 \text{ m} \quad (\text{dari titik C})
 \end{aligned}$$

Momen maksimal yang terjadi

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Max}} &= + V_C \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x \\
 &= +3882,248 \text{ kg} \cdot 1,090 \text{ m} - (3560,48 \text{ kg/m} \cdot 1,090 \text{ m}) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,090 \text{ m} \\
 &= + 2116,539 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Batang DB

$$D = 0$$

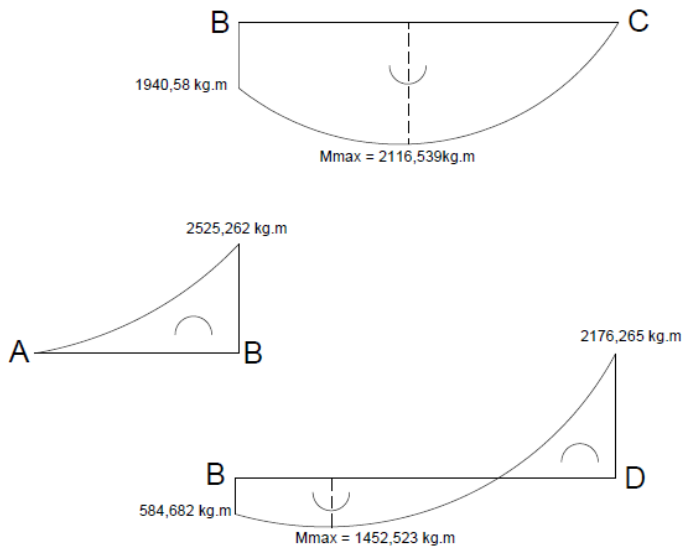
$$0 = -V_D + q \cdot x$$

$$0 = -5448,465 \text{ kg} + 3560,48 \text{ kg/m} \cdot x$$

$$x = 1,530 \text{ m} \quad (\text{dari titik D})$$

Momen maksimal yang terjadi

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Max}} &= + V_D \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x \\
 &= + 5448,465 \text{ kg} \cdot 1,530 \text{ m} - (3560,48 \text{ kg/m} \cdot 1,530 \text{ m}) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,530 \text{ m} \\
 &= + 1452,523 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$



• **Output SAP 2000**

Tangga

$$M_{11} = 4110,42 \text{ kg.m}$$

$$M_{22} = 2251,62 \text{ kg.m}$$

Bordes

$$M_{11} = 907,57 \text{ kg.m}$$

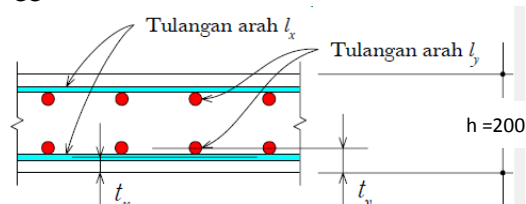
$$M_{22} = 1261,44 \text{ kg.m}$$

- Perhitungan tulangan :

$$\text{Tebal decking} = 20 \text{ mm}$$

$$D \text{ tulangan rencana} = 10 \text{ mm}$$

Tinggi Manfaat:



Pelat tangga :

$$\begin{aligned} d_x &= t_{pelat} - t_{decking} - (1/2 d_{rencana}) \\ &= 200 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 175 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= t_{pelat} - t_{decking} - d_{rencana} - (1/2 d_{rencana}) \\ &= 200 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 165 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pelat bordes :

$$\begin{aligned} d_x &= t_{pelat} - t_{decking} - (1/2 d_{rencana}) \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= t_{pelat} - t_{decking} - d_{rencana} - (1/2 d_{rencana}) \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 115 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\ &= 0,0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0,85}{400 \text{ MPa}} \right) \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \cdot 25 \text{ MPa}} \\ &= 18,824\end{aligned}$$

• PENULANGAN PELAT TANGGA

- Arah X

$$M_u = 2251,62 \text{ kg.m} = 22.516.200 \text{ N.mm}$$

$$M_n = M_u / \phi = \frac{22.516.200 \text{ N.mm}}{0,8}$$

$$= 28.145.250 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot dx^2} = \frac{28.145.250 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (175 \text{ mm})^2}$$

$$= 0,919 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 1,89 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$= 0,0023$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\min}$$

$$0,0035 > 0,0023 < 0,0203 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,0023 \times 1,3 = 0,00299$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 175 \text{ mm}$$

$$= 612,5 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2(200 \text{ mm})$$

$$S_{\text{maks}} = 400 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **Ø-10**

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{612,5 \text{ mm}^2}$$

$$S = 128,28 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 120 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{tul}}$$

$$400 \text{ mm} > 120 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Tulangan yang dipakai : **Ø 10-120 mm**

$$A_{s\text{pakai}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s)$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 120 \text{ mm})$$

$$= 654,5 \text{ mm}^2$$

Syarat luas tulangan:

$$A_{s\text{pakai}} > A_{s\text{perlu}}$$

$$654,5 \text{ mm}^2 > 612,5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi, untuk tulangan pelat tangga arah X digunakan **Ø 10 - 120 mm.**

- Arah Y

$$M_u = 4110,42 \text{ kg.m} = 41.104.200 \text{ N.mm}$$

$$M_n = M_u / \phi = 41.104.200 \text{ N.mm} / 0,8$$

$$= 51.380.250 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b.d x^2} = \frac{51.380.250 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (165 \text{ mm})^2}$$

$$= 1,89 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.18,824.1,89 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$= 0,0049$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\min}$$

$$0,0035 < 0,0049 < 0,0203 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$A_{S\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0049 \times 1000 \text{ mm} \times 165 \text{ mm}$$

$$= 816,52 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2(200 \text{ mm})$$

$$S_{\text{maks}} = 400 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **Ø-12**

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{816,52 \text{ mm}^2}$$

$$S = 138,511 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 120 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$\begin{array}{rcl} S_{\text{maks}} & \geq & S_{\text{tul}} \\ 400 \text{ mm} & > & 120 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{array}$$

Tulangan yang dipakai : **Ø 12-120 mm**

$$\begin{aligned} A_{\text{Spakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 120 \text{ mm}) \\ &= 942,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{array}{rcl} A_{\text{Spakai}} & > & A_{\text{Sperlu}} \\ 942,48 \text{ mm}^2 & > & 816,5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{array}$$

Jadi, untuk tulangan pelat tangga arah Y digunakan **Ø 12 - 120 mm**.

- Tulangan susut dan suhu

$$\begin{aligned} \rho_{\text{susut}} &= 0,0018 \\ A_{\text{Ssusut}} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 165 \text{ mm} \\ &= 297 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \leq 5h \leq 450 \text{ mm}$

$$\begin{array}{rcl} S_{\text{maks}} & = & 5(200 \text{ mm}) \\ S_{\text{maks}} & = & 1000 \text{ mm} \end{array}$$

Dipakai tulangan **Ø -10**

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{297 \text{ mm}^2}$$

$$S = 264,44 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$\begin{array}{rcl} S_{\text{maks}} & \geq & S_{\text{tul}} \\ 1000 \text{ mm} & > & 200 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{array}$$

Tulangan yang dipakai : **Ø 10-200 mm**

$$\begin{aligned} A_{\text{Spakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 200 \text{ mm}) \\ &= 392,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{array}{rcl} A_{\text{Spakai}} & > & A_{\text{Sperlu}} \\ 392,7 \text{ mm}^2 & > & 297 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{array}$$

Jadi, untuk tulangan susut pelat tangga digunakan **Ø 10 - 200 mm**.

• PENULANGAN PELAT BORDES

- **Arah X**

$$M_u = 907,57 \text{ kg.m} = 9.075.700 \text{ N.mm}$$

$$M_n = M_u / \phi = \frac{9.075.700 \text{ N.mm}}{0,8}$$

$$= 11.344.625 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d x^2} = \frac{11.344.625 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (125 \text{ mm})^2}$$

$$= 0,726 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,726 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$= 0,0018$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0018 < 0,0203 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,0018 \times 1,3 = 0,00234$

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 125 \text{ mm} \\ &= 437,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2(150 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 300 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **Ø-10**

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{437,5 \text{ mm}^2}$$

$$S = 179,52 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 150 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$\begin{aligned} S_{\max} &\geq S_{\text{tul}} \\ 300 \text{ mm} &> 150 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Tulangan yang dipakai : **Ø 10-150 mm**

$$\begin{aligned} A_{s\text{pakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 125 \text{ mm}) \\ &= 523,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{s\text{pakai}} &> A_{s\text{perlu}} \\ 523,6 \text{ mm}^2 &> 437,5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, untuk tulangan pelat bordes arah X digunakan **Ø 10 - 150 mm.**

- Arah Y

$$M_u = 1261,44 \text{ kg.m} = 12.614.400 \text{ N.mm}$$

$$M_n = M_u / \phi = 12.614.400 \text{ N.mm} / 0,8$$

$$= 15.768.000 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b.d x^2} = \frac{15.768.000 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (115 \text{ mm})^2}$$

$$= 1,19 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.18,824.1,19 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$= 0,0049$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\min}$$

$$0,0035 < 0,0031 < 0,0203 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,0031 \times 1,3 = 0,00403$

$$A_{S\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 115 \text{ mm}$$

$$= 402,5 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2(150 \text{ mm})$$

$$S_{\text{maks}} = 300 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **Ø -10**

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{402,5 \text{ mm}^2}$$

$$S = 195,13 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 150 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$\begin{array}{ccc} S_{\text{maks}} & \geq & S_{\text{tul}} \\ 300 \text{ mm} & > & 150 \text{ mm} \end{array} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Tulangan yang dipakai : **Ø 10-150 mm**

$$\begin{aligned} A_{\text{Spakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 150 \text{ mm}) \\ &= 523,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{array}{ccc} A_{\text{Spakai}} & > & A_{\text{Sperlu}} \\ 402,5 \text{ mm}^2 & > & 523,6 \text{ mm}^2 \end{array} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi, untuk tulangan pelat bordes arah Y digunakan **Ø 10 - 150 mm**.

- Kesimpulan penulangan :

Pelat Tangga	Arah X	Ø 10 - 120 mm
	Arah Y	Ø 12 - 120 mm
	Susut	Ø 10 - 200 mm
Pelat Bordes	Arah X	Ø 10 - 150 mm
	Arah Y	Ø 10 - 150 mm

4.4.2.2. Tangga Darurat

Dalam perhitungan penulangan pelat tangga darurat, tangga yang dipilih adalah tangga penghubung lantai 1 dengan lantai 2.

➤ Data-data perencanaan:

Tipe pelat	= Tangga Darurat-1
Mutu beton (f_c')	= 25 MPa
Mutu baja tul. lentur (f_y)	= 400 MPa
Mutu baja tul. Geser (f_y)	= 320 MPa
β	= 0,85
ϕ	= 0,8
Tebal pelat tangga	= 20 cm
Tebal pelat bordes	= 15 cm
Diameter tulangan lentur	= 10 mm
Diameter tulangan susut	= 8 mm

➤ Perhitungan penulangan pelat:

- Perhitungan momen :

• **Output SAP 2000**

Tangga

$$M_{11} = 3803,13 \text{ kg.m}$$

$$M_{22} = 4494,81 \text{ kg.m}$$

Bordes

$$M_{11} = 4923,85 \text{ kg.m}$$

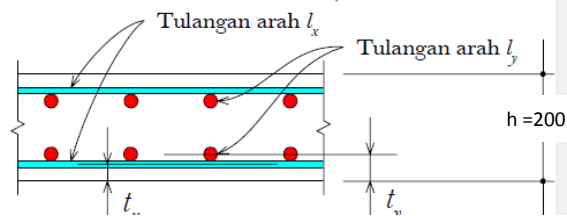
$$M_{22} = 2221,07 \text{ kg.m}$$

- Perhitungan tulangan :

$$\text{Tebal decking} = 20 \text{ mm}$$

$$D \text{ tulangan rencana} = 10 \text{ mm}$$

Tinggi Manfaat:



Pelat tangga :

$$\begin{aligned} d_x &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - (1/2 d_{\text{rencana}}) \\ &= 200 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 175 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - d_{\text{rencana}} - (1/2 d_{\text{rencana}}) \\ &= 200 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 165 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pelat bordes :

$$\begin{aligned} d_x &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - (1/2 d_{\text{rencana}}) \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - d_{\text{rencana}} - (1/2 d_{\text{rencana}}) \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 115 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0,85}{400 \text{ MPa}} \right) \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\
 &= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \cdot 25 \text{ MPa}} \\
 &= 18,824
 \end{aligned}$$

• **PENULANGAN PELAT TANGGA**

- **Arah X**

$$M_u = 4494,81 \text{ kg.m} = 44.948.100 \text{ N.mm}$$

$$M_n = M_u / \phi = 44.948.100 \text{ N.mm} / 0,8$$

$$= 56.185.125 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d x^2} = \frac{56.185.125 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (175 \text{ mm})^2} \\
 &= 1,835 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 1,835 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) \\
 &= 0,0048
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\min} \\
 0,0035 &< 0,0048 < 0,0203 \quad \textbf{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Sperlu}} &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0048 \times 1000 \text{ mm} \times 175 \text{ mm} \\
 &= 840,65 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2(200 \text{ mm})$$

$$S_{\text{maks}} = 400 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **Ø-12**

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{840,65 \text{ mm}^2}$$

$$S = 134,54 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 120 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$\begin{array}{ccc} S_{\text{maks}} & \geq & S_{\text{tul}} \\ 400 \text{ mm} & > & 120 \text{ mm} \end{array} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Tulangan yang dipakai : **Ø 12-120 mm**

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 120 \text{ mm}) \\ &= 942,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{array}{ccc} A_{S_{\text{pakai}}} & > & A_{S_{\text{perlu}}} \\ 942,48 \text{ mm}^2 & > & 840,65 \text{ mm}^2 \end{array} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi, untuk tulangan pelat tangga arah X digunakan **Ø 12 - 120 mm.**

- Arah Y

$$\begin{aligned} M_u &= 3803,13 \text{ kg.m} &= 38.031.300 \text{ N.mm} \\ M_n &= M_u / \phi &= 38.031.300 \text{ N.mm} / 0,8 \\ & &= 47.539.125 \text{ N.mm} \\ Rn &= \frac{Mn}{b \cdot dx^2} &= \frac{47.539.125 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (165 \text{ mm})^2} \\ & &= 1,75 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.18,824.1,75 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$= 0,0046$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\min}$$

$$0,0035 < 0,0046 < 0,0203 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0046 \times 1000 \text{ mm} \times 165 \text{ mm}$$

$$= 752,6 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2(200 \text{ mm})$$

$$S_{\text{maks}} = 400 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **Ø -12**

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{752,6 \text{ mm}^2}$$

$$S = 150,28 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 150 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{tul}}$$

$$400 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Tulangan yang dipakai : **Ø 12-150 mm**

$$A_{s\text{pakai}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \left(\frac{b}{s}\right)$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot \left(\frac{1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}}\right)$$

$$= 753,98 \text{ mm}^2$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{\text{spakai}} &> A_{\text{perlu}} \\ 753,98 \text{ mm}^2 &> 752,6 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, untuk tulangan pelat tangga arah Y digunakan \emptyset **12 - 150 mm.**

- Tulangan susut dan suhu

$$\begin{aligned} \rho_{\text{susut}} &= 0,0018 \\ A_{\text{susut}} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 165 \text{ mm} \\ &= 297 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \leq 5h \leq 450 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= 5(200 \text{ mm}) \\ S_{\text{maks}} &= 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan \emptyset -10

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} \\ S &= \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{297 \text{ mm}^2} \\ S &= 264,44 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{tul}} \\ 1000 \text{ mm} &> 200 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Tulangan yang dipakai : \emptyset **10-200 mm**

$$\begin{aligned} A_{\text{spakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 200 \text{ mm}) \\ &= 392,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{array}{rcl} A_{\text{Spakai}} & > & A_{\text{Sperlu}} \\ 392,7 \text{ mm}^2 & > & 297 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{array}$$

Jadi, untuk tulangan susut pelat tangga digunakan **Ø 10 - 200 mm.**

• **PENULANGAN PELAT BORDES**

- **Arah X**

$$M_u = 4923,85 \text{ kg.m} = 49.238.500 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \phi &= 49.238.500 \text{ N.mm} / 0,8 \\ & &= 61.548.125 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn}{b \cdot dx^2} &= \frac{61.548.125 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (125 \text{ mm})^2} \\ & &= 3,94 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 3,94 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) \\ &= 0,011 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl} \rho_{\min} & < & \rho & < & \rho_{\min} \\ 0,0035 & < & 0,011 & < & 0,0203 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{array}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{Sperlu}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,011 \times 1000 \text{ mm} \times 125 \text{ mm} \\ &= 1372,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2(150 \text{ mm})$$

$$S_{\text{maks}} = 300 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **Ø-12**

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{1372,88 \text{ mm}^2}$$

$$S = 82,38 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 80 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$\begin{array}{ccc} S_{\text{maks}} & \geq & S_{\text{tul}} \\ 300 \text{ mm} & > & 80 \text{ mm} \end{array} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Tulangan yang dipakai : **Ø 12-80 mm**

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 80 \text{ mm}) \\ &= 1413,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{array}{ccc} A_{S_{\text{pakai}}} & > & A_{S_{\text{perlu}}} \\ 1413,72 \text{ mm}^2 & > & 1372,88 \text{ mm}^2 \end{array} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi, untuk tulangan pelat bordes arah X digunakan **Ø 12 - 80 mm**.

- Arah Y

$$\begin{aligned} M_u &= 2221,07 \text{ kg.m} &= 22.210.700 \text{ N.mm} \\ M_n &= M_u / \phi &= \frac{22.210.700 \text{ N.mm}}{0,8} \\ & &= 27.763.375 \text{ N.mm} \\ R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d \cdot x^2} &= \frac{27.763.375 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (115 \text{ mm})^2} \\ & &= 2,1 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 2,1 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$= 0,0055$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0055 < 0,0203 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$A_{\text{Sperlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0055 \times 1000 \text{ mm} \times 115 \text{ mm}$$

$$= 636,73 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2(150 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 300 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **Ø -12**

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{636,73 \text{ mm}^2}$$

$$S = 177,62 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 150 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$S_{\max} \geq S_{\text{tul}}$$

$$300 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Tulangan yang dipakai : **Ø 12-150 mm**

$$\begin{aligned} A_{\text{pakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 150 \text{ mm}) \\ &= 753,98 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{\text{pakai}} &> A_{\text{perlu}} \\ 753,98 \text{ mm}^2 &> 636,73 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, untuk tulangan pelat bordes arah Y digunakan **Ø 12 - 150 mm**.

- Kesimpulan penulangan :

Pelat Tangga	Arah X	Ø 12 - 120 mm
	Arah Y	Ø 12 - 150 mm
	Susut	Ø 10 - 200 mm
Pelat Bordes	Arah X	Ø 12 - 80 mm
	Arah Y	Ø 12 - 150 mm

4.4.3. Balok

4.4.3.1. Balok Bordes

A. Balok Bordes Tangga Utama

Perhitungan tulangan balok bordes diambil dari data balok bordes tangga utama (300x450) mm. Berikut adalah data-data perencanaan balok bordes, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yang selanjutnya akan dihitung menggunakan metode SRPMM.

➤ Data-data perencanaan:

Tipe balok : BB1
Bentang balok (L balok) : 3400 mm

Dimensi balok (b balok)	: 300 mm
Dimensi balok (h balok)	: 450 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 320 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D)	: 16 mm
Diameter tulangan geser (ϕ)	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (D)	: 13 mm
Spasi antar tulangan sejajar	: 30 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.1)

Tebal selimut beton (desking)	: 40 mm
-------------------------------	---------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1(c))

Faktor β_1	: 0,85
------------------	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,8
---	-------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.1)

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
--	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ)	: 0,75
--	--------

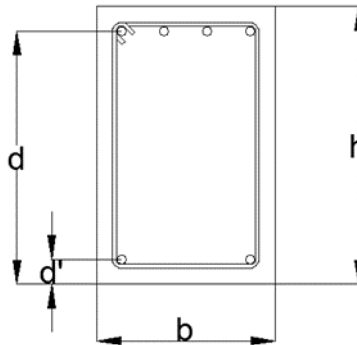
(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

➤ Perhitungan penulangan balok:

- Tinggi efektif balok:

$$\begin{aligned}
 d &= h - t_{\text{decking}} - \phi_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan lentur}} \\
 &= 450 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \times 16 \text{ mm} \right) \\
 &= 392 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= \text{decking} + \phi_{\text{tulangan geser}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan lentur}} \\
 &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \left(\frac{1}{2} \times 16 \text{ mm} \right) \\
 &= 58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.6. Tinggi Efektif Balok Bordes BB1

- Hasil Output SAP 2000:

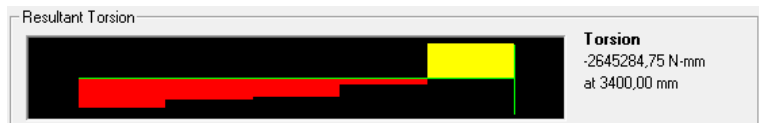
Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok.

Untuk hasil analisa perhitungan tulangan balok bordes, diambil momen dari kombinasi akibat beban gravitasi yaitu kombinasi $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$

Hasil output torsi

Kombinasi : $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$

Momen puntir : -2.645.284,75 Nmm

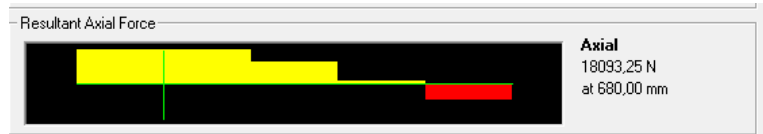


Gambar 4.7. Diagram Gaya Torsi Balok Bordes BB1

Hasil output aksial

Kombinasi : $1,2D + 1,6L + 0,5Lr$

Gaya aksial : 18.093,25 N



Gambar 4.8. Diagram Gaya Aksial Balok Bordes BB1

Hasil output momen lentur

Kombinasi : $1,2D + 1,6L + 0,5Lr$

Momen lentur lapangan : 10.427.194,63 Nmm



Gambar 4.9. Diagram Gaya Momen Lentur Lapangan Balok Bordes BB1

Kombinasi : $1,2D + 1,6L + 0,5Lr$

Momen lentur tumpuan kanan : -11.431.434,6 Nmm



Gambar 4.10. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Bordes BB1

Kombinasi : $1,2D + 1,6L + 0,5Lr$

Momen lentur tumpuan kiri : -5.828.195,42 Nmm



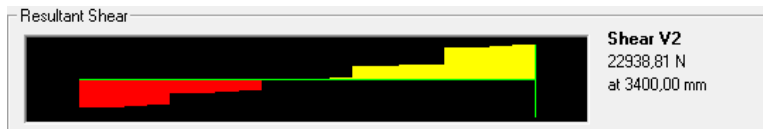
Gambar 4.11. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Bordes BB1

Hasil output diagram gaya geser

Berdasarkan SNI 03-2857-2013 Pasal 21.3.4.2 sengkang pertaman harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Maka, V_u diambil sebesar :

Kombinasi : $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$

Gaya geser : 22.938,81 N



Gambar 4.12. Diagram Gaya Geser Balok Bordes BB1

- Syarat gaya aksial pada balok:

Balok harus memenuhi persyaratan batas gaya tekan aksial *SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.2*. Sesuai ketentuan SRPMM bahwa gaya tekan aksial terfaktor, P_u , untuk komponen struktur tidak melebihi $A_g \cdot f_c' / 10$ dengan perhitungan dibawah ini :

$$\frac{A_g \cdot f_c'}{10} = \frac{300 \text{ mm} \times 450 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2}{10}$$

$$= 337.500 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$ pada komponen struktur yang ditinjau sebesar 18.164,20 N
Maka, sesuai persamaan :

$$P_u < \frac{A_g \cdot f_c'}{10}$$

$$18.093,25 \text{ N} < 337.500 \text{ N}$$

- Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$A_{cp} = 300 \text{ mm} \times 450 \text{ mm}$$

$$A_{cp} = 135.000 \text{ mm}^2$$

Perimeter luar irisan penampang beton A_{cp} :

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 \times (300 \text{ mm} + 450 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 1.500 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser})$$

$$A_{oh} = (300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 75.600 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})]$$

$$P_{oh} = 1.140 \text{ mm}$$

- **Perhitungan tulangan puntir**

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5L_r.

Momen puntir ultimate:

$$T_u = -2.645.284,75 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{2.645.284,75 \text{ Nmm}}{0,75} = 3.527.046,33 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini.

$$T_u \text{ min} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

$$T_u \text{ min} = 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{135.000^2}{1.500} \right)$$

$$T_u \text{ min} = 3.781.687,5 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$T_u \text{ max} = \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

$$T_u \text{ max} = 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{135.000^2}{1.500} \right)$$

$$T_u \text{ max} = 15.035.625 \text{ Nmm}$$

Cek pengaruh puntir

$T_u < T_u \text{ min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$Tu > Tu_{min}$, maka memerlukan tulangan puntir

$Tu < Tu_{min}$

$$2.645.284,75 \text{ Nmm} < 3.781.687,5 \text{ Nmm}$$

(tulangan puntir diabaikan)

Jadi, penampang balok tidak memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang dan sengkang tertutup.

- Perhitungan tulangan lentur

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$Xb = \frac{600}{600 + 400} \times 392 \text{ mm}$$

$$Xb = 235,2 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times Xb$$

$$X_{max} = 0,75 \times 235,2 \text{ mm}$$

$$X_{max} = 176,4 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{min} = d'$$

$$X_{min} = 58 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana}$$

$$Cc' = 0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm} \times 0,85 \times 150 \text{ mm}$$

$$Cc' = 812.812,5 \text{ N}$$

Luasan tulangan

$$Asc = \frac{Cc'}{fy} = \frac{812.812,5 N}{400 N/mm^2}$$

$$Asc = 2.032,03 mm^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = Asc \times fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times Xr}{2} \right)$$

$$Mnc = 2.032,03 mm^2 \times 400 N/mm^2 \times \left(392 mm - \frac{0,85 \times 150 mm}{2} \right)$$

$$Mnc = 266.805.703,13 Nmm$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{fy} \\ &= \frac{1,4}{400 MPa} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot fc' \cdot \beta}{fy} \right) \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \\ &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot 25 MPa \cdot 0,85}{400 MPa} \right) \left(\frac{600}{600 + 400 MPa} \right) \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{fy}{0,85 \cdot fc'} \\ &= \frac{400 MPa}{0,85 \cdot 25 MPa} \\ &= 18,824 \end{aligned}$$

DAERAH TUMPUAN KANAN

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan balok bordes menggunakan momen terbesar akibat kombinasi $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 11.431.434,6 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{11.431.434,6 \text{ Nmm}}{0,8} = 14.289.293,25 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 14.289.293,25 \text{ Nmm} - 266.805.703,13 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = - 252.516.409,88 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{14.289.293,25 \text{ N.mm}}{300 \text{ mm} \cdot (392 \text{ mm})^2}$$

$$= 0,310 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,310 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$= 0,00078$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,00078 < 0,0203 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,00078 \times 1,3 = 0,001015$

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 300 \text{ mm} \times 392 \text{ mm}$$

$$= 411,6 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **D 16 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan \text{ tulangan}}$$

$$n = \frac{411,6 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 2,05 \cong 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **3D16**.

$$As_{\text{pasang}} = n \times As_{\text{tul. tarik}}$$

$$= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2$$

$$= 603,19 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$As_{\text{pasang}} \geq As_{\text{perlu}}$$

$$603,19 \text{ mm}^2 \geq 411,6 \text{ mm}^2 \text{ (MEMENUHI)}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$As'_{\text{perlu}} = 0,3 \times As_{\text{pasang}}$$

$$= 0,3 \times 603,19 \text{ mm}^2$$

$$= 180,96 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As'_{perlu}}{Luasan\ tulangan}$$

$$n = \frac{180,96\text{ mm}^2}{0,25 \pi (16\text{ mm})^2}$$

$$n = 0,9 \cong 2\text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D16**.

$$\begin{aligned} As'_{pasang} &= n \times As_{tul.tekan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16\text{ mm})^2 \\ &= 402,12\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} As'_{pasang} &\geq As'_{perlu} \\ 402,12\text{ mm}^2 &\geq 180,96\text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} = 30\text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{maks} &\leq S_{sejajar} = 30\text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\ &= \frac{300\text{ mm} - (2x40\text{ mm}) - (2x10\text{ mm}) - (3x16\text{ mm})}{3 - 1} \\ &= 76\text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} \\ 76\text{ mm} &> 30\text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\ &= \frac{300\text{ mm} - (2x40\text{ mm}) - (2x10\text{ mm}) - (2x16\text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 168\text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{lll} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 168 \text{ mm} & > & 30 \text{ mm} \end{array} \quad \text{(MEMENUHI)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes 30/45 untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **3D16**.

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &= n \times A_{Stul.tarik} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \\ &= 603,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D16**.

$$\begin{aligned} A_{S'_{pasang}} &= n \times A_{Stul.tekan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

$$402,12\text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 603,19\text{ mm}^2$$

$$402,12\text{ mm}^2 > 201,06\text{ mm}^2$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah tumpuan kanan, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{Spasang}$ tulangan tarik **3D16** = 603,19 mm²

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f'c' b}$$

$$a = \frac{603,19\text{ mm}^2 \times 400\text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25\text{ N/mm}^2 \times 300\text{ mm}}$$

$$a = 37,847\text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f'c' \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 300\text{ mm} \times 25\text{ N/mm}^2 \times 37,847\text{ mm}$$

$$Cc' = 241.274,32\text{ N}$$

$$T = As\text{ pakai} \times fy$$

$$T = 603,19\text{ mm}^2 \times 400\text{ N/mm}^2$$

$$T = 241.274,32\text{ N}$$

$$Mn = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$Mn = \left(241.274,32\text{ N} \times \left(392\text{ mm} - \frac{37,828\text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$Mn = 90.013.783,13\text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta. Mn \text{ pasang} > Mu$$

$$0,8 \times 90.013.783,13 \text{ Nmm} > 11.431.434,6 \text{ Nmm}$$

$$72.011.026,5 \text{ Nmm} > 11.431.434,6 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

Jadi, penulangan lentur untuk balok bordes tangga utama 30/45 dengan bentang 3,4 m untuk daerah tumpuan kanan adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

DAERAH TUMPUAN KIRI

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri balok bordes menggunakan momen terbesar akibat kombinasi $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 5.828.195,42 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn = \frac{5.828.195,42 \text{ Nmm}}{0,8} = 7.285.244,28 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$Mns = 7.285.244,28 \text{ Nmm} - 266.805.703,13 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = - 259.520.458,85 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{7.285.244,28 \text{ N.mm}}{300 \text{ mm} \cdot (392 \text{ mm})^2} = 0,158 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,158 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) = 0,000397$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,000397 < 0,0203 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,000397 \times 1,3 = 0,000516$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 300 \text{ mm} \times 392 \text{ mm} \\ &= 411,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D 16 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{411,6 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 2,05 \cong 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **3D16**.

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n \times A_{s_{tul.tarik}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \\ &= 603,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &\geq A_{s_{perlu}} \\ 603,19 \text{ mm}^2 &\geq 411,6 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{s'_{perlu}} &= 0,3 \times A_{s_{pasang}} \\ &= 0,3 \times 603,19 \text{ mm}^2 \\ &= 180,96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s'_{perlu}}}{Luasan \text{ tulangan}}$$

$$n = \frac{180,96 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,9 \cong 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D16**.

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &= n \times A_{s_{tul.tekan}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &\geq A_{s'_{perlu}} \\ 402,12 \text{ mm}^2 &\geq 180,96 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{maks} &\leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{maks} = \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nxD_{lentur})}{n - 1}$$

$$= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (3 \times 16 \text{ mm})}{3 - 1}$$

$$= 76 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$76 \text{ mm} > 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2x t_{\text{selimut}}) - (2x \phi_{\text{geser}}) - (nx D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (2 \times 16 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$= 168 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$168 \text{ mm} > 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes 30/45 untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan}(+)} \geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan}(-)}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **3D16**.

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n \times A_{Stul.tarik} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \\ &= 603,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D16**.

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &= n \times A_{Stul.tekan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lentur tumpuan(+)} &\geq \frac{1}{3} M_{lentur tumpuan(-)} \\ 402,12 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 603,19 \text{ mm}^2 \\ 402,12 \text{ mm}^2 &> 201,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{s_{pasang}}$ tulangan tarik **3D16** = 603,19 mm²

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{603,19 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}} \\ a &= 37,847 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_{c'} \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 37,847 \text{ mm}$$

$$Cc' = 241.274,32 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai} \times f_y$$

$$T = 603,19 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 241.274,32 \text{ N}$$

$$M_n = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$M_n = \left(241.247,32 \text{ N} \times \left(392 \text{ mm} - \frac{37,847 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$M_n = 90.013.783,13 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta \cdot M_n \text{ pasang} > M_u$$

$$0,8 \times 90.013.783,13 \text{ Nmm} > 10.176.222,8 \text{ Nmm}$$

$$72.011.026,5 \text{ Nmm} > 10.176.222,8 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

Jadi, penulangan lentur untuk balok bordes tangga utama 30/45 dengan bentang 3,4 m untuk daerah tumpuan kiri adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

DAERAH LAPANGAN

Perhitungan tulangan lentur lapangan balok bordes menggunakan momen terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5L_r.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 10.427.194,63 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{10.427.194,63 \text{ Nmm}}{0,8} = 13.033.993,29 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 13.033.993,29 \text{ Nmm} - 266.805.703,13 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = - 253.771.709,84 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{13.033.993,29 \text{ N.mm}}{300 \text{ mm} \cdot (392 \text{ mm})^2}$$

$$= 0,283 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,283 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$= 0,000712$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\min}$$

$$0,0035 > 0,000712 < 0,0203 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,000712 \times 1,3 = 0,000925$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 300 \text{ mm} \times 392 \text{ mm}$$

$$= 411,6 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **D 16 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{411,6 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 2,05 \cong 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **3D16**.

$$A_{s \text{ pasang}} = n \times A_{s \text{ tul. tarik}}$$

$$= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2$$

$$= 603,19 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ perlu}}$$

$$603,19 \text{ mm}^2 \geq 411,6 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$A_{s' \text{ perlu}} = 0,3 \times A_{s \text{ pasang}}$$

$$= 0,3 \times 603,19 \text{ mm}^2$$

$$= 180,96 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s' \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{180,96 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,9 \cong 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D16**.

$$\begin{aligned} A_s'_{\text{pasang}} &= n \times A_{s_{\text{tul.tekan}}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_s'_{\text{pasang}} &\geq A_s'_{\text{perlu}} \\ 402,12 \text{ mm}^2 &\geq 180,96 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{maks}} &\leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2xt_{\text{selimut}}) - (2x\phi_{\text{geser}}) - (nx D_{\text{lentur}})}{n - 1} \\ &= \frac{300 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x10 \text{ mm}) - (3x16 \text{ mm})}{3 - 1} \\ &= 76 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} \\ 76 \text{ mm} &> 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2xt_{\text{selimut}}) - (2x\phi_{\text{geser}}) - (nx D_{\text{lentur}})}{n - 1} \\ &= \frac{300 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x10 \text{ mm}) - (2x16 \text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 168 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} \\ 168 \text{ mm} &> 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes 30/45 untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **3D16**.

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &= n \times A_{Stul.tarik} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16\text{ mm})^2 \\ &= 603,19\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D16**.

$$\begin{aligned} A_{S'_{pasang}} &= n \times A_{Stul.tekan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16\text{ mm})^2 \\ &= 402,12\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

$$\begin{aligned} 402,12\text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 603,19\text{ mm}^2 \\ 402,12\text{ mm}^2 &> 201,06\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{s\text{pasang}}$ tulangan tarik **3D16** = 603,19 mm²

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{603,19 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 37,847 \text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 37,847 \text{ mm}$$

$$Cc' = 241.274,32 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai} \times f_y$$

$$T = 602,88 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 241.274,32 \text{ N}$$

$$Mn = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$Mn = \left(241.274,32 \text{ N} \times \left(392 \text{ mm} - \frac{37,847 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$Mn = 90.013.783,13 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta \cdot Mn \text{ pasang} > Mu$$

$$0,8 \times 90.013.783,13 \text{ Nmm} > 12.470.726,84 \text{ Nmm}$$

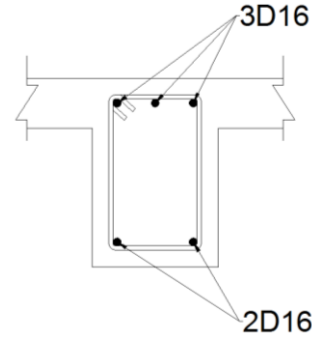
$$72.011.026,5 \text{ Nmm} > 12.470.726,84 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

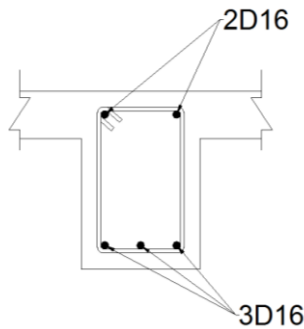
Jadi, penulangan lentur untuk balok bordes tangga 30/45 dengan bentang 3,4 m untuk daerah lapangan adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**



Gambar 4.13. Detail Tulangan Lentur Tumpuan Balok Bordes Tangga Utama.



Gambar 4.14. Detail Tulangan Lentur Lapangan Balok Bordes Tangga Utama.

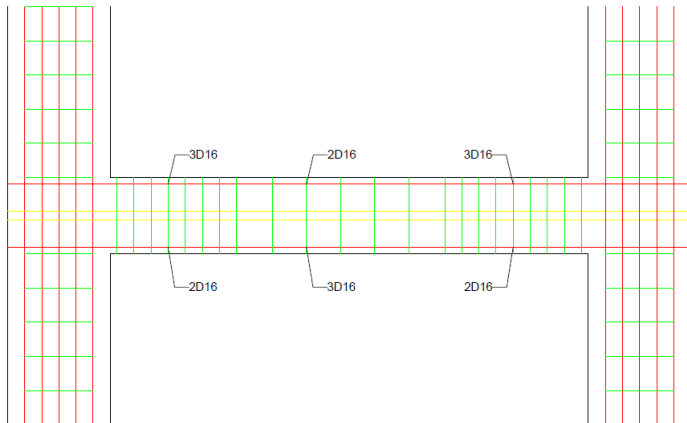
- **Perhitungan tulangan geser**

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok bordes. Luasan tulangan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan momen nominal kanan.

Berdasarkan hasil SAP 2000, gaya terfaktor geser terbesar diperoleh dari kombinasi $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$ yaitu $V_u = 22.938,81 \text{ N}$.

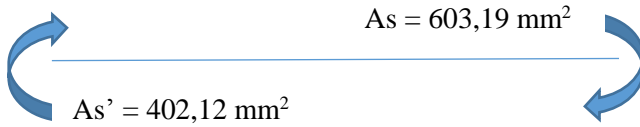
Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.



**Gambar 4.15. Potongan Penampang Balok Bordes
Tangga Utama.**

- 1) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan.



Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{As' \cdot fy}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{402,12 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 25,23 \text{ mm}$$

$$Mnl = As' \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnl = 402,12 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(392 \text{ mm} - \frac{25,23 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mnl = 61.023.799,57 \text{ Nmm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{603,19 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

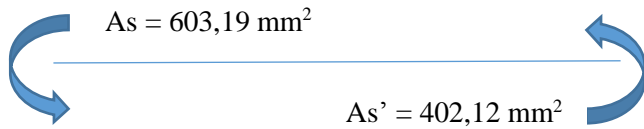
$$a = 37,85 \text{ mm}$$

$$Mnr = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnr = 603,19 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(392 \text{ mm} - \frac{37,85 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mnr = 91.535.699,35 \text{ Nmm}$$

2) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri.



Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f'c' b}$$

$$a = \frac{603,19 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 37,85 \text{ mm}$$

$$Mnl = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnl = 603,19 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(392 \text{ mm} - \frac{37,85 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mnl = 91.535.699,35 \text{ Nmm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{As' \cdot fy}{0,85 f'c' b}$$

$$a = \frac{402,12 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 25,23 \text{ mm}$$

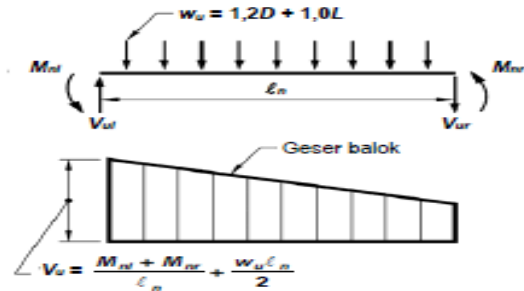
$$Mnr = As' \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnr = 402,12 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(392 \text{ mm} - \frac{25,23 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mnr = 61.023.799,57 \text{ Nmm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4*.

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



Gambar 4.16. Geser Desain Untuk SRPMM

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.3.1(a)*)

Keterangan :

V_{u1} : Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan
(kanan)

l_n : Panjang bersih balok

Karena hasil M_n untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyang ke kiri maka $V_{u1} = V_{u2}$.

$$\begin{aligned} l_n &= L_{\text{balok}} - 2\left(\frac{1}{2} \cdot b_{\text{kolom}}\right) \\ &= 3400 \text{ mm} - 2\left(\frac{1}{2} \cdot 300 \text{ mm}\right) \\ &= 3100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

$$V_{u1} = \frac{61.023.799,57 Nmm + 91.535.699,35 Nmm}{(3100 \text{ mm})} + 22.938,81 N$$

$$V_{u1} = 71.660,61 N$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Sesuai dengan persyaratan pada *SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2* yaitu nilai akar f_c' yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa.

$$\begin{array}{rcl} \sqrt{f_c'} & < & 8,3 \\ \sqrt{25 \text{ MPa}} & < & 8,3 \\ 5 \text{ MPa} & < & 8,3 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{array}$$

Kuat geser beton

Sesuai dengan *SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1*:

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

Dengan nilai $\lambda = 1$, untuk beton normal.

Maka,

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 300 \text{ mm} \times 392 \text{ mm}$$

$$V_c = 98.000 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s \text{ min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{1}{3} \times 300 \text{ mm} \times 392 \text{ mm}$$

$$V_{s \text{ min}} = 39.200 \text{ N}$$

$$V_{s \max} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d$$

$$V_{s \max} = \frac{1}{3} \times \sqrt{25} \times 300 \text{ mm} \times 392 \text{ mm}$$

$$V_{s \max} = 196.000 \text{ N}$$

$$2 V_{s \max} = 2 \times 196.000 \text{ N}$$

$$2 V_{s \max} = 392.000 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Wilayah pada daerah geser balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom tengah bentang.
2. Wilayah 2 (daerah lapangan) dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke tengah bentang balok.

Perhitungan penulangan geser balok

WILAYAH 1 & 3 (TUMPUAN)

$$V_{u1} = 71.660,61 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c$$

$$71.660,61 \text{ N} \leq 36.750 \text{ N}$$

(TIDAK MEMENUHI)

2. Kondisi 2 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot V_c$$

$$36.750 \text{ N} \leq 71.660,61 \text{ N} \leq 73.500 \text{ N}$$

(MEMENUHI)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok bordes menggunakan pesyaratan kondisi 2, yaitu memerlukan tulangan minimum.

Syarat spasi tulangan:

$$\begin{aligned} S_{maks} &\leq d/4 \leq 600 \text{ mm} \\ S_{maks} &= d/4 \\ &= 392 \text{ mm}/4 \\ &= 98 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan spasi tulangan minimum 90 mm.

Kontrol:

$$\begin{aligned} S &< S_{maks} \\ 90 \text{ mm} &< 98 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas tulangan geser minimum:

$$\begin{aligned} Av_{min} &= \frac{bw \cdot s}{3f_y} \\ Av_{min} &= \frac{300 \text{ mm} \cdot 90 \text{ mm}}{3 \cdot 320 \text{ N/mm}^2} \\ Av_{min} &= 28,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$\begin{aligned} Av &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\ Av &= \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (10 \text{ mm})^2 \times 2 \\ Av &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{array}{rcl} A_v & > & A_{v_{\min}} \\ 157,08 \text{ mm}^2 & > & 28,13 \text{ mm}^2 \end{array} \quad \text{(MEMENUHI)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih 50 mm dari perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

Cek persyaratan :

- $S_{\text{pakai}} < d/4$
 $90 \text{ mm} < 392 \text{ mm}/4$
 $90 \text{ mm} < 98 \text{ mm} \quad \text{(MEMENUHI)}$
- $S_{\text{pakai}} < 8 \times D_{\text{lentur}}$
 $90 \text{ mm} < 8 \times 16 \text{ mm}$
 $90 \text{ mm} < 128 \text{ mm} \quad \text{(MEMENUHI)}$
- $S_{\text{pakai}} < 24 \times D_{\text{geser}}$
 $90 \text{ mm} < 24 \times 10 \text{ mm}$
 $90 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad \text{(MEMENUHI)}$
- $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $90 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$
 $90 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \text{(MEMENUHI)}$

Maka, digunakan tulangan geser (senggang) Ø10 - 90 mm pada daerah tumpuan kiri dan kanan dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

WILAYAH 2 (LAPANGAN)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{Vu2}{0,5 ln - 2h} = \frac{Vu1}{0,5ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \times (0,5 ln - 2h)}{0,5ln}$$

$$Vu2 = \frac{71.660,61 N \times (0,5 \times (3100mm) - 2 \times 450mm)}{0,5 \times (3100 mm)}$$

$$Vu2 = 30.051,22 N$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c$$

$$30.051,22 N \leq 36.750 N$$

(MEMENUHI)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok bordes menggunakan pesyaratan kondisi 1, yaitu tidak memerlukan tulangan geser.

Maka dipasang jarak minimum 120 mm antar tulangan geser.

Syarat spasi tulangan:

$$S_{maks} \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = d/2$$

$$= 392 \text{ mm} / 2$$

$$= 196 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Kontrol:

$$\begin{array}{ccc} S & < & S_{maks} \\ 120 \text{ mm} & < & 196 \text{ mm} \end{array}$$

Luas tulangan geser minimum:

$$\begin{aligned} A_{v_{min}} &= \frac{bw \cdot s}{3f_y} \\ A_{v_{min}} &= \frac{300 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm}}{3 \cdot 320 \text{ N/mm}^2} \\ A_{v_{min}} &= 37,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\ A_v &= \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (10 \text{ mm})^2 \times 2 \\ A_v &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{array}{ccc} A_v & > & A_{v_{min}} \\ 157,08 \text{ mm}^2 & > & 37,5 \text{ mm}^2 \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok

Pada sepanjang panjang komponen struktur lentur spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/2$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

Cek persyaratan :

- a. $S_{pakai} < d/2$
 $120 \text{ mm} < 392 \text{ mm}/4$
 $120 \text{ mm} < 196 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**
- b. $S_{pakai} < 8 \times D_{lentur}$
 $120 \text{ mm} < 8 \times 16 \text{ mm}$
 $120 \text{ mm} < 128 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**
- c. $S_{pakai} < 24 \times D_{geser}$
 $120 \text{ mm} < 24 \times 10 \text{ mm}$
 $120 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**
- d. $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $120 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$
 $120 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**

Maka, digunakan tulangan geser (senggang) Ø10 - 120 mm pada daerah lapangan.

- Perhitungan panjang penyaluran

Panjang penyaluran untuk tulangan lentur D16 dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2, 12,3 dan 12.5.

1) Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik.

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) db \geq 300 \text{ mm}$$

Dimana,

- | | | |
|-----------|----------------------------|---|
| Ψ_t | = faktor lokasi tulangan, | 1 |
| Ψ_e | = faktor pelapis tulangan, | 1 |
| λ | = beton normal, | 1 |

Maka,

$$l_d = \left(\frac{400 \text{ MPa} \cdot 1.1}{2,1.1 \cdot \sqrt{25 \text{ MPa}}} \right) 16 \text{ mm}$$

$$l_d = 609,52 \text{ mm}$$

Syarat:

$$l_d > 300 \text{ mm}$$

$$609,52 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = \frac{A_{s_{\text{pertu}}}}{A_{s_{\text{pasang}}}} l_d$$

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = \frac{536,06 \text{ mm}^2}{603,19 \text{ mm}^2} 609,52 \text{ mm}$$

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = 541,69 \text{ mm} \approx 600 \text{ mm}$$

2) Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan.

$$l_{dc} = \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \cdot 400 \text{ MPa}}{1 \sqrt{25 \text{ MPa}}} \cdot 16 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 307,2 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043 f_y d_b$$

$$l_{dc} = 0,043 \cdot 400 \text{ MPa} \cdot 16 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 217,6 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $l_{dc} = 307,2 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{dc_{reduksi}} = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{pasang}}} l_{dc}$$

$$l_{dc_{reduksi}} = \frac{180,96 \text{ mm}^2}{402,12 \text{ mm}^2} 307,2 \text{ mm}$$

$$l_{dc_{reduksi}} = 138,24 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Karena l_{dc} tidak boleh kurang dari 200 mm maka diambil panjang minimum yaitu 200 mm.

- 3) Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik.

$$l_{dh} = \frac{0,24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \cdot 400 \text{ MPa}}{1 \sqrt{25 \text{ MPa}}} \cdot 16 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 307,2 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

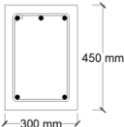
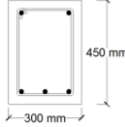
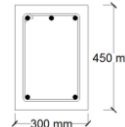
$$8d_b = 8 \cdot (16 \text{ mm})$$

$$= 128 \text{ mm}$$

Syarat:

l_{dh}	$> 150 \text{ mm}$	
400 mm	$> 150 \text{ mm}$	(MEMENUHI)
l_{dh}	$> 8d_b \text{ mm}$	
400 mm	$> 128 \text{ mm}$	(MEMENUHI)

- Kesimpulan penulangan

Tipe	BB1		
Wilayah	Tumpuan kiri	Lapangan	Tumpuan kanan
Balok bordes tangga utama			
Dimensi	300 x 450	300 x 450	300 x 450
Tul. Atas	3D16	2D16	3D16
Tul. Sisi	-	-	-
Tul. Bawah	2D16	3D16	2D16
Sengkang	Ø10-90	Ø10-120	Ø10-90

B. Balok Bordes Tangga Darurat

Perhitungan tulangan balok bordes diambil dari data balok bordes tangga darurat (300x500) mm. Berikut adalah data-data perencanaan balok bordes, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yang selanjutnya akan dihitung menggunakan metode SRPMM.

➤ Data-data perencanaan:

- Tipe balok : BB2
- Bentang balok (L balok) : 3400 mm
- Dimensi balok (b balok) : 300 mm
- Dimensi balok (h balok) : 500 mm
- Kuat tekan beton (fc') : 25 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur (fy) : 400 MPa
- Kuat leleh tulangan geser (fyv) : 320 MPa
- Kuat leleh tulangan puntir (fyt) : 400 MPa

Diameter tulangan lentur (D) : 16 mm
 Diameter tulangan geser (\emptyset) : 14 mm
 Diameter tulangan puntir (D) : 13 mm
 Spasi antar tulangan sejajar : 30 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.1)

Tebal selimut beton (desking) : 40 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1(c))

Faktor β_1 : 0,85

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ): 0,8

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.1)

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ) : 0,75

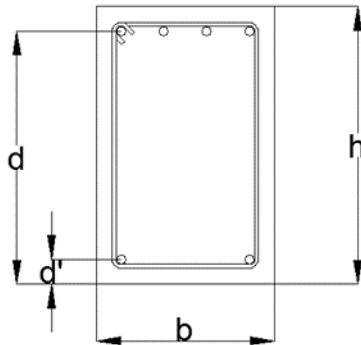
(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

➤ Perhitungan penulangan balok:

- Tinggi efektif balok:

$$\begin{aligned} d &= h - t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 14 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \times 16 \text{ mm} \right) \\ &= 438 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset_{\text{tulangan geser}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 40 \text{ mm} + 14 \text{ mm} + \left(\frac{1}{2} \times 16 \text{ mm} \right) \\ &= 62 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.17. Tinggi Efektif Balok Bordes BB2

- Hasil Output SAP 2000:

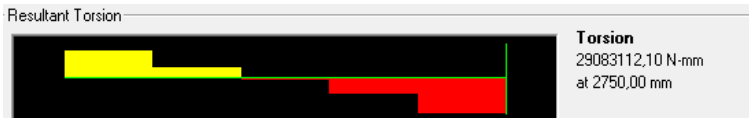
Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok.

Untuk hasil analisa perhitungan tulangan balok bordes, diambil momen dari kombinasi akibat beban gravitasi yaitu kombinasi $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$

Hasil output torsi

Kombinasi : $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$

Momen puntir : -29.083.112,1 Nmm

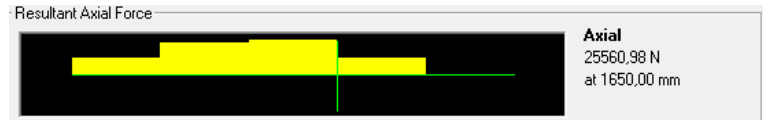


Gambar 4.18. Diagram Gaya Torsi Balok Bordes BB2

Hasil output aksial

Kombinasi : $1,2D + 1,6L + 0,5Lr$

Gaya aksial : 25.560,98 N

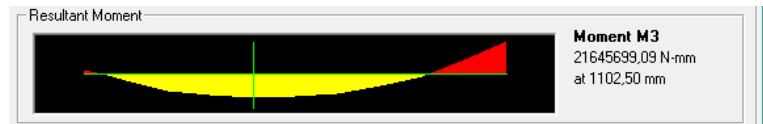


Gambar 4.19. Diagram Gaya Aksial Balok Bordes BB2

Hasil output momen lentur

Kombinasi : $1,2D + 1,6L + 0,5Lr$

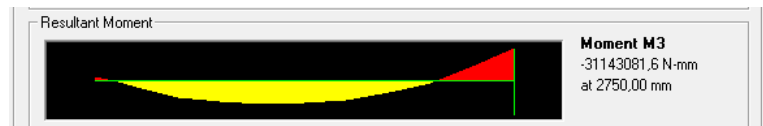
Momen lentur lapangan : 21.645.699,09 Nmm



Gambar 4.20. Diagram Gaya Momen Lentur Lapangan Balok Bordes BB2

Kombinasi : $1,2D + 1,6L + 0,5Lr$

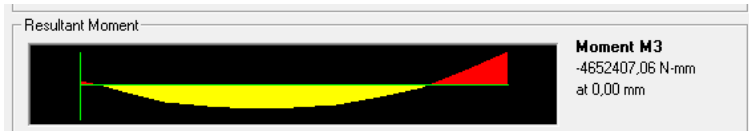
Momen lentur tumpuan kanan : -31.143.081,6 Nmm



Gambar 4.21. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Bordes BB2

Kombinasi : $1,2D + 1,6L + 0,5Lr$

Momen lentur tumpuan kiri : -4.652.407,06 Nmm



Gambar 4.22. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Bordes BB2

Hasil output diagram gaya geser

Berdasarkan SNI 03-2857-2013 Pasal 21.3.4.2 sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Maka, V_u diambil sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Kombinasi} & : 1,2D + 1,6L + 0,5L_r \\ \text{Gaya geser} & : 61.482,16 \text{ N} \end{aligned}$$



Gambar 4.23. Diagram Gaya Geser Balok Bordes BB2

- Syarat gaya aksial pada balok:

Balok harus memenuhi persyaratan batas gaya tekan aksial *SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.2*. Sesuai ketentuan SRPMM bahwa gaya tekan aksial terfaktor, P_u , untuk komponen struktur tidak melebihi $A_g \cdot f_c' / 10$ dengan perhitungan dibawah ini :

$$\begin{aligned} \frac{A_g \cdot f_c'}{10} &= \frac{300 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2}{10} \\ &= 375.000 \text{ N} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5L_r pada komponen struktur yang ditinjau sebesar 25.560,98 N

Maka, sesuai persamaan :

$$P_u < \frac{A_g \cdot f_c'}{10}$$

$$25.560,98 \text{ N} < 375.000 \text{ N}$$

- Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$A_{cp} = 300 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$$

$$A_{cp} = 150.000 \text{ mm}^2$$

Perimeter luar irisan penampang beton A_{cp} :

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 \times (300 \text{ mm} + 500 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 1.600 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser})$$

$$A_{oh} = (300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 14 \text{ mm}) \times (500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 14 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 83.636 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 14 \text{ mm}) + (500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 14 \text{ mm})]$$

$$P_{oh} = 1.224 \text{ mm}$$

- **Perhitungan tulangan puntir**

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar akibat kombinasi $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$.

Momen puntir ultimate:

$$T_u = -29.083.112,1 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{29.083.112,1 \text{ Nmm}}{0,75} = 38.777.482,8 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini.

$$T_u \text{ min} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_u \text{ min} = 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{150.000^2}{1.600} \right)$$

$$T_u \text{ min} = 4.376.953,13 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$T_u \text{ max} = \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_u \text{ max} = 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{150.000^2}{1.600} \right)$$

$$T_u \text{ max} = 17.402.343,75 \text{ Nmm}$$

Cek pengaruh puntir

$Tu < Tu_{min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$Tu > Tu_{min}$, maka memerlukan tulangan puntir

$Tu < Tu_{min}$

29.083.112,1 Nmm > 4.376.953,13 Nmm

(tulangan puntir diperhitungkan)

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang dan sengkang-sengkang tertutup.

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3** :

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{Tu \cdot Ph}{1,7 \times A_o h^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{\frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times b \times d}{b \times d} + \left(\frac{2 \sqrt{f'c}}{3} \right) \right)$$

$$3,03 \leq 3,10 \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Maka penampang balok bordes mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan puntir untuk lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut.

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times P_o h \times \left(\frac{f_y t}{f_y} \right) \times \cot^2 \phi$$

Dengan A_t/s dihitung sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan berikut :

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \times Ao \times fyt \times Cot \emptyset}$$

Dengan $A_o = 0,85A_{oh}$ dan untuk beton non-prategang $\emptyset = 45^\circ$

Maka :

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85A_{oh} \\ &= 0,85 \times 83.636 \text{ mm}^2 \\ &= 71.091 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \times Ao \times fyt \times Cot \emptyset}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{38.777.482,8 \text{ Nmm}}{2 \times 71.091 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times Cot 45^\circ}$$

$$\frac{At}{s} = 1,104 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan puntir untuk lentur :

$$Al = \frac{At}{s} \times Poh \times \left(\frac{fyt}{fy} \right) \times cot^2 \emptyset$$

$$Al = 1,104 \text{ mm} \times 1.224 \text{ mm} \times \left(\frac{400 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \right) \times cot^2 45$$

$$Al = 515.23 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.5.3** tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan :

$$\frac{At}{s} \geq \frac{0,175 \times bw}{f_{yt}}$$

$$0,18501 \text{ mm} \geq \frac{0,175 \times 300 \text{ mm}}{400 \text{ N/mm}^2}$$

$$1,104 \text{ mm} \geq 0,13125 \text{ mm}$$

Maka nilai **At/s** diambil 1,104 mm

Periksa nilai al min dengan persamaan :

$$Al \text{ min} = \left(\frac{0,42 \times \sqrt{f'c'} \times Acp}{f_y} \right) - \frac{At}{s} \times Poh \times \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$Al \text{ min} = \left(\frac{0,42 \times \sqrt{25} \times 150.000 \text{ mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \right) \times$$

$$- 1,104 \text{ mm} \times 1.224 \text{ mm} \times \frac{400 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}$$

$$Al \text{ min} = -564,30 \text{ mm}^2$$

Periksa penggunaan Al dengan 2 kondisi sebagai berikut.

$Al \text{ perlu} \leq Al \text{ min}$, maka menggunakan $Al \text{ min}$

$Al \text{ perlu} \geq Al \text{ min}$, maka menggunakan $Al \text{ perlu}$

Maka :

$Al \text{ perlu} \leq Al \text{ min}$

$515,23 \text{ mm}^2 > -564,3 \text{ mm}^2$

sehingga digunakan Al sebesar $515,23 \text{ mm}^2$

Dipakai luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata pada empat sisi penampang balok sehingga diperoleh kebutuhan luasan tulangan tiap sisinya, yaitu:

$$\frac{Al}{4} = \frac{515,23 \text{ mm}^2}{4} = 128,81 \text{ mm}^2$$

Penyebaran penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi setiap sisinya :

- Sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok
- Sisi bawah : dialurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 124,46 mm².

Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar:

$$2 \times \frac{Al}{4} = 2 \times \frac{515,23 \text{ mm}^2}{4} = 257,62 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D 13 mm pada tulangan puntir pada 2 sisi yaitu sisi kiri dan sisi kanan sejumlah :

$$n = \frac{As}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{257,62 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (13 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,94 \cong 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir **2D13**.

$$\begin{aligned} A_{\text{spasang}} &= n \times A_{\text{tul.puntir}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \pi (13 \text{ mm})^2 \\ &= 265,46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{array}{rcl} A_{\text{spasang}} & \geq & A_{\text{perlu}} \\ 265,46 \text{ mm}^2 & \geq & 257,62 \text{ mm}^2 \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir ditumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan sebesar **2D13**.

- **Perhitungan tulangan lentur**

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$Xb = \frac{600}{600 + 400} \times 438 \text{ mm}$$

$$Xb = 262,8 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times Xb$$

$$X_{max} = 0,75 \times 262,8 \text{ mm}$$

$$X_{max} = 197,1 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{min} = d'$$

$$X_{min} = 62 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana}$$

$$Cc' = 0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm} \times 0,85 \times 150 \text{ mm}$$

$$Cc' = 812.812,5 \text{ N}$$

Luasan tulangan

$$A_{sc} = \frac{Cc'}{f_y} = \frac{812.812,5 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2}$$

$$A_{sc} = 2.032,03 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 2.032,03 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(438 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 150 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 304.195.078,13 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0,85}{400 \text{ MPa}} \right) \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \cdot 25 \text{ MPa}} \\ &= 18,824 \end{aligned}$$

DAERAH TUMPUAN KANAN

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan balok bordes menggunakan momen terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5L_r.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = -31.143.081,60 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn = \frac{31.143.081,60 \text{ Nmm}}{0,8} = 38.928.852 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$Mns = 38.928.852 \text{ Nmm} - 304.195.078,13 \text{ Nmm}$$

$$Mns = - 265.266.226,13 \text{ Nmm}$$

$$Mns < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{38.928.852 \text{ N.mm}}{300 \text{ mm} \cdot (438 \text{ mm})^2}$$

$$= 0,676 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,676 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$= 0,00172$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\min}$$

$$0,0035 > 0,00172 < 0,0203 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,00172 \times 1,3 = 0,00223$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 300 \text{ mm} \times 438 \text{ mm}$$

$$= 459,90 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$A_{s\text{perlu}} = A_s + \frac{A_t}{4}$$

$$= 459,90 \text{ mm}^2 + 128,81 \text{ mm}^2$$

$$= 588,71 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **D 16 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{588,71 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 2,93 \cong 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **3D16**.

$$A_{s\text{pasang}} = n \times A_{s\text{tul.tarik}}$$

$$= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2$$

$$= 603,19 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s\text{pasang}} \geq A_{s\text{perlu}}$$

$$603,19 \text{ mm}^2 \geq 588,81 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned}
 A_s'_{\text{perlu}} &= 0,3 \times A_{s_{\text{pasang}}} \\
 &= 0,3 \times 603,19 \text{ mm}^2 \\
 &= 180,96 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_s'_{\text{perlu}}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{180,96 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,9 \cong 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D16**.

$$\begin{aligned}
 A_s'_{\text{pasang}} &= n \times A_{s_{\text{tul.tekan}}} \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \\
 &= 402,12 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_s'_{\text{pasang}} &\geq A_s'_{\text{perlu}} \\
 402,12 \text{ mm}^2 &\geq 180,96 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\
 S_{\text{maks}} &\leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}
 \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2xt_{\text{selimut}}) - (2x\phi_{\text{geser}}) - (nx D_{\text{lentur}})}{n - 1} \\
 &= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 14 \text{ mm}) - (3 \times 16 \text{ mm})}{3 - 1} \\
 &= 72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} \\
 72 \text{ mm} &> 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{300 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x14 \text{ mm}) - (2x16 \text{ mm})}{2 - 1} \\
 &= 168 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl}
 S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\
 160 \text{ mm} & > & 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{array}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes 30/50 untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur \text{ tumpuan}(+) } \geq \frac{1}{3} M_{lentur \text{ tumpuan}(-)}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **3D16**.

$$\begin{aligned}
 A_{Spasang} &= n \times A_{Stul.tarik} \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \\
 &= 603,19 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D16**.

$$\begin{aligned} A_s'_{\text{pasang}} &= n \times A_{s_{\text{tul.tekan}}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur tumpuan}(+) } &\geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan}(-)} \\ 402,12 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 603,19 \text{ mm}^2 \\ 402,12 \text{ mm}^2 &> 201,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah tumpuan kanan, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{s_{\text{pasang}}}$ tulangan tarik **3D16** = 603,19 mm²

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b} \\ a &= \frac{603,19 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}} \\ a &= 37,847 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$C c' = 0,85 \times b \times f c' \times a$$

$$C c' = 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 37,847 \text{ mm}$$

$$C c' = 241.274,32 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai} \times f_y$$

$$T = 603,19 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 241.274,32 \text{ N}$$

$$Mn = \left(C c' x \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$Mn = \left(241.274,32 \text{ N} \times \left(438 \text{ mm} - \frac{37,847 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$Mn = 101.112.401,65 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta . Mn \text{ pasang} > Mu$$

$$0,8 \times 101.112.401,65 \text{ Nmm} > 31.143.081,6 \text{ Nmm}$$

$$80.889.921,32 \text{ Nmm} > 31.143.081,6 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

Jadi, penulangan lentur untuk balok bordes tangga darurat 30/50 dengan bentang 2,75 m untuk daerah tumpuan kanan adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

DAERAH TUMPUAN KIRI

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri balok bordes menggunakan momen terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5L_r.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = -4.652.407,06 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn = \frac{4.652.407,06 \text{ Nmm}}{0,8} = 5.815.508,83 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 5.815.508,83 \text{ Nmm} - 304.195.078,13 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = - 298.379.569,3 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{5.815.508,83 \text{ N.mm}}{300 \text{ mm} \cdot (438 \text{ mm})^2} = 0,101 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,101 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) = 0,000253$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\min}$$

$$0,0035 > 0,000253 < 0,0203 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,000253 \times 1,3 = 0,000329$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 300 \text{ mm} \times 438 \text{ mm} \\ &= 459,90 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 459,90 \text{ mm}^2 + 128,81 \text{ mm}^2 \\ &= 588,71 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D 16 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luasan tulangan}} \\ &= \frac{588,71 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (16\text{mm})^2} \\ n &= 2,93 \cong 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tarik **3D16**.

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \times A_{s\text{tul.tarik}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \\ &= 603,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &\geq A_{s\text{perlu}} \\ 603,19 \text{ mm}^2 &\geq 588,81 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{s'\text{perlu}} &= 0,3 \times A_{s\text{pasang}} \\ &= 0,3 \times 603,19 \text{ mm}^2 \\ &= 180,96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s'\text{perlu}}}{\text{Luasan tulangan}} \\ &= \frac{180,96 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (16\text{mm})^2} \\ n &= 0,9 \cong 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tekan **2D16**.

$$\begin{aligned}
 A_s'_{\text{pasang}} &= n \times A_{s_{\text{tul.tekan}}} \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \\
 &= 402,12 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_s'_{\text{pasang}} &\geq A_s'_{\text{perlu}} \\
 402,12 \text{ mm}^2 &\geq 180,96 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\
 S_{\text{maks}} &\leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}
 \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2xt_{\text{selimut}}) - (2x\phi_{\text{geser}}) - (nx D_{\text{lentur}})}{n - 1} \\
 &= \frac{300 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x14 \text{ mm}) - (3x16 \text{ mm})}{3 - 1} \\
 &= 72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} \\
 72 \text{ mm} &> 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2xt_{\text{selimut}}) - (2x\phi_{\text{geser}}) - (nx D_{\text{lentur}})}{n - 1} \\
 &= \frac{300 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x14 \text{ mm}) - (2x16 \text{ mm})}{2 - 1} \\
 &= 168 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} \\
 160 \text{ mm} &> 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes 30/50 untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **3D16**.

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &= n \times A_{Stul.tarik} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16\text{ mm})^2 \\ &= 603,19\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D16**.

$$\begin{aligned} A_{S'_{pasang}} &= n \times A_{Stul.tekan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16\text{ mm})^2 \\ &= 402,12\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

$$\begin{aligned} 402,12\text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 603,19\text{ mm}^2 \\ 402,12\text{ mm}^2 &> 201,06\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{s\text{pasang}}$ tulangan tarik **3D16** = 603,19 mm²

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{603,19 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 37,847 \text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 37,847 \text{ mm}$$

$$Cc' = 241.274,32 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai} \times f_y$$

$$T = 603,19 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 241.274,32 \text{ N}$$

$$Mn = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$Mn = \left(241.247,32 \text{ N} \times \left(438 \text{ mm} - \frac{37,847 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$Mn = 101.112.401,65 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta \cdot Mn \text{ pasang} > Mu$$

$$0,8 \times 101.112.401,65 \text{ Nmm} > 4.652407,06 \text{ Nmm}$$

$$80.889.921,32 \text{ Nmm} > 4.652407,06 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

Jadi, penulangan lentur untuk balok bordes tangga darurat 30/50 dengan bentang 2,75 m untuk daerah tumpuan kiri adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

DAERAH LAPANGAN

Perhitungan tulangan lentur lapangan balok bordes menggunakan momen terbesar akibat kombinasi $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 21.645.699,09 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{21.645.699,09 \text{ Nmm}}{0,8} = 27.057.123,86 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 27.057.123,86 \text{ Nmm} - 304.195.078,13 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = - 277.137.954,26 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{27.057.123,86 \text{ N.mm}}{300 \text{ mm} \cdot (438 \text{ mm})^2} = 0,470 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.18,824.0,470 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) = 0,00119$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,00119 < 0,0203 \text{ (**Tidak Memenuhi**)}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,00119 \times 1,3 = 0,00155$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 300 \text{ mm} \times 438 \text{ mm} \\ &= 459,90 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 459,90 \text{ mm}^2 + 128,81 \text{ mm}^2 \\ &= 588,71 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D 16 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_{s\text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{588,71 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 2,93 \cong 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **3D16**.

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pasang}}} &= n \times A_{S_{\text{tul.tarik}}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \\ &= 603,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pasang}}} &\geq A_{S_{\text{perlu}}} \\ 603,19 \text{ mm}^2 &\geq 588,81 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{S'_{\text{perlu}}} &= 0,3 \times A_{S_{\text{pasang}}} \\ &= 0,3 \times 603,19 \text{ mm}^2 \\ &= 180,96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{S'_{\text{perlu}}}}{Luasan \text{ tulangan}}$$

$$n = \frac{180,96 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,9 \cong 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D16**.

$$\begin{aligned} A_{S'_{\text{pasang}}} &= n \times A_{S_{\text{tul.tekan}}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{S'_{\text{pasang}}} &\geq A_{S'_{\text{perlu}}} \\ 402,12 \text{ mm}^2 &\geq 180,96 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} &= 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} &= 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2x t_{selimut}) - (2x \phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{300 \text{ mm} - (2x 40 \text{ mm}) - (2x 14 \text{ mm}) - (3x 16 \text{ mm})}{3 - 1} \\
 &= 72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl}
 S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\
 72 \text{ mm} & > & 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{array}$$

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2x t_{selimut}) - (2x \phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{300 \text{ mm} - (2x 40 \text{ mm}) - (2x 14 \text{ mm}) - (2x 16 \text{ mm})}{2 - 1} \\
 &= 168 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl}
 S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\
 160 \text{ mm} & > & 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{array}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes 30/50 untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **3D16**.

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n \times A_{s_{tul.tarik}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16\text{ mm})^2 \\ &= 603,19\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D16**.

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &= n \times A_{s_{tul.tekan}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16\text{ mm})^2 \\ &= 402,12\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

$$402,12\text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 603,19\text{ mm}^2$$

$$402,12\text{ mm}^2 > 201,06\text{ mm}^2$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{s_{pasang}}$ tulangan tarik **3D16** = 603,19 mm²

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{603,19\text{ mm}^2 \times 400\text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25\text{ N/mm}^2 \times 300\text{ mm}}$$

$$a = 37,847\text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_{c'} \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 37,847 \text{ mm}$$

$$Cc' = 241.274,32 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai } \times f_y$$

$$T = 602,88 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 241.274,32 \text{ N}$$

$$Mn = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$Mn = \left(241.274,32 \text{ N} \times \left(438 \text{ mm} - \frac{37,847 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$Mn = 101.112.401,65 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta \cdot Mn \text{ pasang} > Mu$$

$$0,8 \times 101.112.401,65 \text{ Nmm} > 21.645.699,09 \text{ Nmm}$$

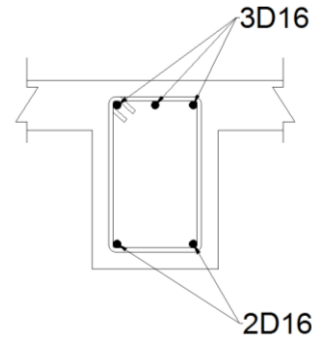
$$80.889.921,32 \text{ Nmm} > 21.645.699,09 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

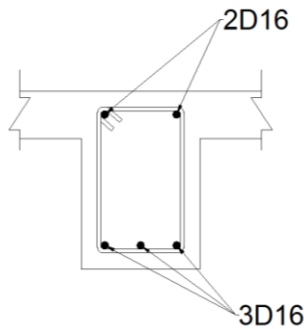
Jadi, penulangan lentur untuk balok bordes tangga darurat 30/50 dengan bentang 2,75 m untuk daerah lapangan adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**



Gambar 4.24. Detail Tulangan Lentur Tumpuan Balok Bordes Tangga Darurat



Gambar 4.25. Detail Tulangan Lentur Lapangan Balok Bordes Tangga Darurat

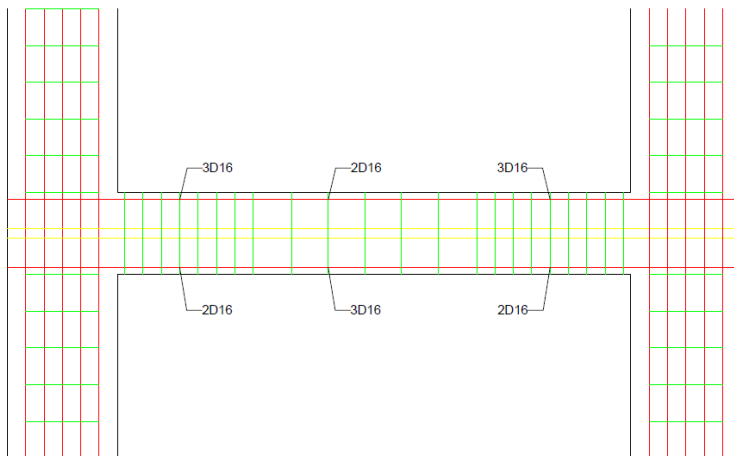
- Perhitungan tulangan geser

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok bordes. Luasan tulangan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan momen nominal kanan.

Berdasarkan hasil SAP 2000, gaya terfaktor geser terbesar diperoleh dari kombinasi $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$ yaitu $V_u = 61.482,16 \text{ N}$.

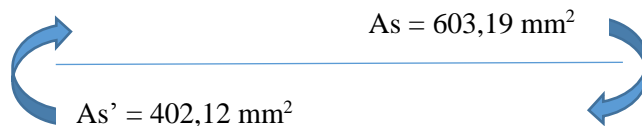
Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.



Gambar 4.26. Potongan Penampang Balok Bordes Tangga Darurat.

- 1) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan.



Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{As' \cdot fy}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{402,12 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 25,23 \text{ mm}$$

$$M_{nl} = As' \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 402,12 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(438 \text{ mm} - \frac{25,23 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 68.422.878,58 \text{ Nmm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{603,19 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

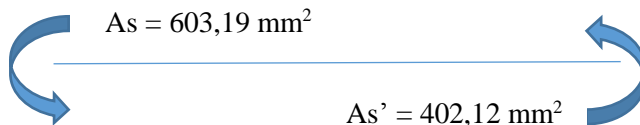
$$a = 37,85 \text{ mm}$$

$$M_{nr} = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 603,19 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(438 \text{ mm} - \frac{37,85 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 101.112.401,65 \text{ Nmm}$$

2) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri.



Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f'c' b}$$

$$a = \frac{603,19 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 37,85 \text{ mm}$$

$$Mnl = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnl = 603,19 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(438 \text{ mm} - \frac{37,85 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mnl = 101.112.401,65 \text{ Nmm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{As' \cdot fy}{0,85 f'c' b}$$

$$a = \frac{402,12 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 25,23 \text{ mm}$$

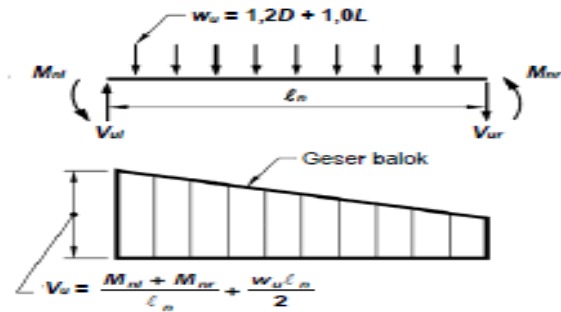
$$Mnr = As' \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnr = 402,12 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(438 \text{ mm} - \frac{25,23 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mnr = 68.422.878,58 \text{ Nmm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4.

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



Gambar 4.27. Geser Desain Untuk SRPMM

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.3.1(a))

Keterangan :

V_{u1} : Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan
(kanan)

l_n : Panjang bersih balok

Karena hasil M_n untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyak ke kiri maka $V_{u1} = V_{u2}$.

$$\begin{aligned} l_n &= L_{\text{balok}} - \left(\frac{1}{2} \cdot b_{\text{kolom}} \right) - \left(\frac{1}{2} \cdot b_{\text{kolom}} \right) \\ &= 2750 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 300 \text{ mm} \right) - \left(\frac{1}{2} \cdot 500 \text{ mm} \right) \\ &= 2350 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

$$V_{u1} = \frac{68.422.878,58 Nmm + 101.112.401,65 Nmm}{(2350 \text{ mm})} + 61.482,16 N$$

$$V_{u1} = 133.624,83 N$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Sesuai dengan persyaratan pada *SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2* yaitu nilai akar f_c' yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa.

$$\begin{array}{rcl} \sqrt{f_c'} & < & 8,3 \\ \sqrt{25 \text{ MPa}} & < & 8,3 \\ 5 \text{ MPa} & < & 8,3 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{array}$$

Kuat geser beton

Sesuai dengan *SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1*:

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

Dengan nilai $\lambda = 1$, untuk beton normal.

Maka,

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 300 \text{ mm} \times 438 \text{ mm}$$

$$V_c = 109.500 N$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s \text{ min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{1}{3} \times 300 \text{ mm} \times 438 \text{ mm}$$

$$V_{s \text{ min}} = 43.800 N$$

$$V_s \max = \frac{1}{3} x \sqrt{f'c'} x b x d$$

$$V_s \max = \frac{1}{3} x \sqrt{25} x 300 \text{ mm} x 438 \text{ mm}$$

$$V_{smax} = 219.000 \text{ N}$$

$$2 V_{smax} = 2 x 219.000 \text{ N}$$

$$2 V_{smax} = 438.000 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Wilayah pada daerah geser balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom tengah bentang.
2. Wilayah 2 (daerah lapangan) dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke tengah bentang balok.

Perhitungan penulangan geser balok

WILAYAH 1 & 3 (TUMPUAN)

$$V_{u1} = 133.624,83 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c$$

$$133.624,83 \text{ N} > 41.062,5 \text{ N}$$

(TIDAK MEMENUHI)

2. Kondisi 2 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot V_c$$

$$41.062,5 \text{ N} \leq 133.624,83 \text{ N} > 82.125 \text{ N}$$

(TIDAK MEMENUHI)

3. Kondisi 3 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{smin})$$

$$82.125 \text{ N} \leq 133.624,83 \text{ N} > 114.975 \text{ N}$$

(TIDAK MEMENUHI)

4. Kondisi 4 → Memerlukan tulangan geser

$$\phi \cdot (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{s_{\max}})$$

$$114.975 \text{ N} \leq 133.624,83 \text{ N} \leq 246.375 \text{ N}$$

(MEMENUHI)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok bordes menggunakan persyaratan kondisi 4, yaitu memerlukan tulangan geser.

Beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$V_{s_{\text{perlu}}} = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_{s_{\text{perlu}}} = \frac{133.624,83 \text{ N}}{0,75} - 109.500 \text{ N}$$

$$V_{s_{\text{perlu}}} = 68.666,44 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø14 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$A_v = \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (14 \text{ mm})^2 \times 2$$

$$A_v = 307,88 \text{ mm}^2$$

Spasi perlu tulangan:

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$s = \frac{307,88 \text{ mm}^2 \times 320 \text{ N/mm}^2 \times 438 \text{ mm}}{68.666,44 \text{ N}}$$

$$s = 916,10 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\leq d/4 \leq 600 \text{ mm} \\
 S_{\text{maks}} &= d/4 \\
 &= 438 \text{ mm}/4 \\
 &= 109,5 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan spasi tulangan 100 mm.

Luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{V_{\text{perlu}} \times s}{f_y \times d} \\
 A_v &= \frac{68.666,44 \text{ N} \times 100 \text{ mm}}{320 \text{ N/mm}^2 \times 438 \text{ mm}} \\
 A_v &= 48,99 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tulangan geser perlu ditambah dengan luas tulangan puntir dan disalurkan menjadi sengkang tertutup.

Pengaruh momen puntir

$$\frac{A_t}{s} = 1,104 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 A_t &= 1,104 \text{ mm} \times s \\
 &= 1,104 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \\
 &= 110,4 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas gabungan :

$$\begin{aligned}
 A_v + 2 A_t &= 48,99 \text{ mm}^2 + 2(110,4 \text{ mm}^2) \\
 &= 269,87 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Periksa syarat luas tulangan minimum sengkang tertutup:

$$A_v + 2A_t = 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b \times s}{f_y}$$

$$A_v + 2A_t = 0,062 \sqrt{25 \text{ MPa}} \frac{300 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}}{320 \text{ MPa}}$$

$$A_v + 2A_t = 29,06 \text{ mm}^2$$

$$A_v + 2A_t = 0,35 \frac{b \times s}{f_y}$$

$$A_v + 2A_t = 0,35 \frac{300 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}}{320 \text{ MPa}}$$

$$A_v + 2A_t = 32,81 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan:

$$A_v + 2A_t = 269,87 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$\begin{array}{rcl} A_{vpakai} & > & A_{vperlu} \\ 307,88 \text{ mm}^2 & > & 269,87 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{array}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih 50 mm dari perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

Cek persyaratan :

- a. $S_{pakai} < d/4$
 $100 \text{ mm} < 438 \text{ mm}/4$
 $100 \text{ mm} < 109,5 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**
- b. $S_{pakai} < 8 \times D_{lentur}$
 $100 \text{ mm} < 8 \times 16 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} < 128 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**
- c. $S_{pakai} < 24 \times D_{geser}$
 $100 \text{ mm} < 24 \times 14 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} < 336 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**
- d. $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**

Maka, digunakan tulangan geser (sejangkang) Ø14 - 100 mm pada daerah tumpuan kiri dan kanan dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

WILAYAH 2 (LAPANGAN)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{Vu2}{0,5ln - 2h} = \frac{Vu1}{0,5ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \times (0,5ln - 2h)}{0,5ln}$$

$$Vu2 = \frac{133.624,83N \times (0,5 \times (2350\text{mm}) - 2 \times 500\text{mm})}{0,5 \times (2350 \text{ mm})}$$

$$Vu2 = 19.901,57 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c$$

$$19.901,57 \text{ N} \leq 41.062,5 \text{ N}$$

(MEMENUHI)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok bordes menggunakan persyaratan kondisi 1, yaitu tidak memerlukan tulangan geser.

Maka dipasang jarak minimum 120 mm antar tulangan geser.

Syarat spasi tulangan:

$$S_{maks} \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = d/2$$

$$= 438 \text{ mm}/2$$

$$= 219 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Kontrol:

$$S < S_{maks}$$

$$120 \text{ mm} < 219 \text{ mm}$$

Luas tulangan geser minimum:

$$Av_{min} = \frac{bw \cdot s}{3fy}$$

$$Av_{min} = \frac{300 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm}}{3 \cdot 320 \text{ N/mm}^2}$$

$$Av_{min} = 37,5 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan geser perlu ditambah dengan luas tulangan puntir dan disalurkan menjadi sengkang tertutup.

Pengaruh momen puntir

$$\frac{A_t}{s} = 1,104 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned} A_t &= 1,104 \text{ mm} \times s \\ &= 1,104 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} \\ &= 132,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas gabungan :

$$\begin{aligned} A_v + 2 A_t &= 37,5 \text{ mm}^2 + 2(132,53 \text{ mm}^2) \\ &= 302,56 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Periksa syarat luas tulangan minimum sengkang tertutup:

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &= 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b \times s}{f_y} \\ A_v + 2A_t &= 0,062 \sqrt{25 \text{ MPa}} \frac{300 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}}{320 \text{ MPa}} \\ A_v + 2A_t &= 34,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &= 0,35 \frac{b \times s}{f_y} \\ A_v + 2A_t &= 0,35 \frac{300 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}}{320 \text{ MPa}} \\ A_v + 2A_t &= 39,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan:

$$A_v + 2A_t = 302,56 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø14 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$Av = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$Av = \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (14 \text{ mm})^2 \times 2$$

$$Av = 307,88 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$\begin{array}{ccc} Av_{\text{pakai}} & > & Av_{\text{perlu}} \\ 307,88 \text{ mm}^2 & > & 302,56 \text{ mm}^2 \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok

Pada sepanjang panjang komponen struktur lentur spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/2$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

Cek persyaratan :

$$\begin{array}{ccc} \text{a. } S_{\text{pakai}} & < & d/2 \\ 120 \text{ mm} & < & 438 \text{ mm}/8 \\ 120 \text{ mm} & < & 219 \text{ mm} \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

$$\begin{array}{ccc} \text{b. } S_{\text{pakai}} & < & 8 \times D_{\text{lentur}} \\ 120 \text{ mm} & < & 8 \times 16 \text{ mm} \\ 120 \text{ mm} & < & 128 \text{ mm} \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

$$\begin{array}{ccc} \text{c. } S_{\text{pakai}} & < & 24 \times D_{\text{geser}} \\ 120 \text{ mm} & < & 24 \times 14 \text{ mm} \\ 120 \text{ mm} & < & 336 \text{ mm} \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

$$\begin{array}{ccc} \text{d. } S_{\text{pakai}} & < & 300 \text{ mm} \\ 120 \text{ mm} & < & 300 \text{ mm} \\ 120 \text{ mm} & < & 300 \text{ mm} \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Maka, digunakan tulangan geser (sengkang) Ø10 - 120 mm pada daerah lapangan.

- Perhitungan panjang penyaluran

Panjang penyaluran untuk tulangan lentur D16 dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2, 12.3 dan 12.5.

1) Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik.

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'c}} \right) db \geq 300 \text{ mm}$$

Dimana,

Ψ_t = faktor lokasi tulangan, 1

Ψ_e = faktor pelapis tulangan, 1

λ = beton normal, 1

Maka,

$$l_d = \left(\frac{400 \text{ MPa} \cdot 1.1}{2,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{25 \text{ MPa}}} \right) 16 \text{ mm}$$

$$l_d = 609,52 \text{ mm}$$

Syarat:

$$l_d > 300 \text{ mm}$$

$$609,52 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$ld_{\text{reduksi}} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{pasang}}} l_d$$

$$ld_{\text{reduksi}} = \frac{536,06 \text{ mm}^2}{603,19 \text{ mm}^2} 609,52 \text{ mm}$$

$$ld_{\text{reduksi}} = 541,69 \text{ mm} \approx 600 \text{ mm}$$

2) Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan.

$$l_{dc} = \frac{0,24f_y}{\lambda\sqrt{f'c}} d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \cdot 400 \text{ MPa}}{1\sqrt{25 \text{ MPa}}} \cdot 16 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 307,2 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043f_y d_b$$

$$l_{dc} = 0,043 \cdot 400 \text{ MPa} \cdot 16 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 217,6 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $l_{dc} = 307,2 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{dc_{reduksi}} = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{pasang}}} l_{dc}$$

$$l_{dc_{reduksi}} = \frac{180,96 \text{ mm}^2}{402,12 \text{ mm}^2} 307,2 \text{ mm}$$

$$l_{dc_{reduksi}} = 138,24 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Karena l_{dc} tidak boleh kurang dari 200 mm maka diambil panjang minimum yaitu 200 mm.

3) Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik.

$$l_{dh} = \frac{0,24\Psi_e f_y}{\lambda\sqrt{f'c}} d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \cdot 400 \text{ MPa}}{1\sqrt{25 \text{ MPa}}} \cdot 16 \text{ mm}$$

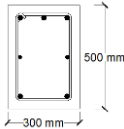
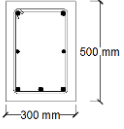
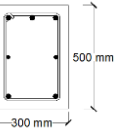
$$l_{dh} = 307,2 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

$8d_b = 8.(16 \text{ mm})$
 $= 128 \text{ mm}$

Syarat:

$l_{dh} > 150 \text{ mm}$
 $400 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**
 $l_{dh} > 8d_b \text{ mm}$
 $400 \text{ mm} > 128 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**

- Kesimpulan penulangan

Type	BB2		
Wilayah	Tumpuan kiri	Lapangan	Tumpuan kanan
Balok bordes tangga darurat			
Dimensi	300 x 500	300 x 500	300 x 500
Tul. Atas	3D16	2D16	3D16
Tul. Sisi	2D13	2D13	2D13
Tul. Bawah	2D16	3D16	2D16
Sengkang	Ø14-100	Ø14-120	Ø14-100

4.4.3.2. Balok Anak

Perhitungan tulangan balok anak diambil dari data balok anak melintang BA1 (300x450) mm as E' joint 3-4 pada elevasi ± 4,2 m. Berikut ialah data perencanaan balok berdasarkan gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dari analisa SAP 2000 yang selanjutnya akan dihitung menggunakan metode SRPMM.

➤ Data-data perencanaan:

Tipe balok	: BA1
Bentang balok (L balok)	: 10.000 mm
Dimensi balok (b balok)	: 300 mm
Dimensi balok (h balok)	: 450 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 320 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D)	: 19 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset)	: 12 mm
Diameter tulangan puntir (D)	: 13 mm
Spasi antar tulangan sejajar	: 30 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.1)

Tebal selimut beton (desking)	: 40 mm
-------------------------------	---------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1(c))

Faktor β_1	: 0,85
------------------	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ):	0,8
--	-----

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.1)

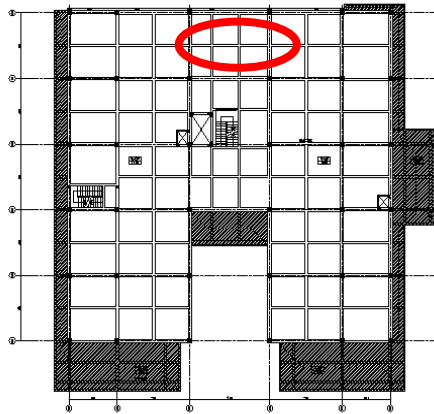
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
--	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ)	: 0,75
--	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

➤ Gambar denah perencanaan:



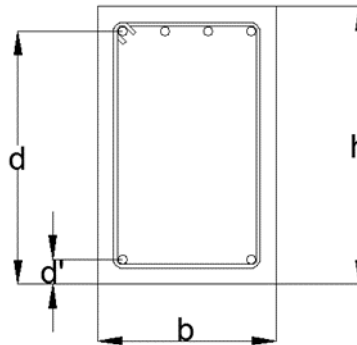
Gambar 4.28. Denah Balok Anak Melintang Yang Ditinjau

➤ Perhitungan penulangan balok:

- Tinggi efektif balok:

$$\begin{aligned} d &= h - t_{\text{decking}} - \phi_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 450 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm} \right) \\ &= 388,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \phi_{\text{tulangan geser}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 40 \text{ mm} + 12 \text{ mm} + \left(\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm} \right) \\ &= 61,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.29. Tinggi Efektif Balok Anak Melintang

- Hasil Output SAP 2000:

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok.

Untuk hasil analisa perhitungan tulangan balok anak, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi $1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$ merupakan kombinasi kritis di dalam permodelan.

Hasil output torsi

Kombinasi : $1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$

Momen puntir : 439.658,21 Nmm

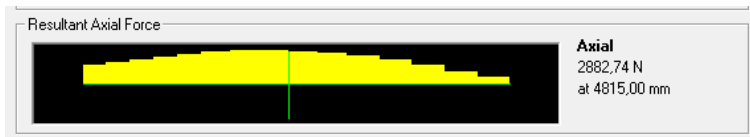


Gambar 4.30. Diagram Gaya Torsi Balok Anak Melintang

Hasil output aksial

Kombinasi : $1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$

Gaya aksial : 2.882,74 N

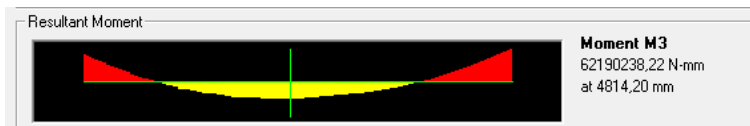


Gambar 4.31. Diagram Gaya Aksial Balok Anak Melintang

Hasil output momen lentur

Kombinasi : $1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$

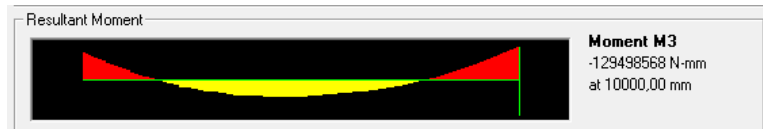
Momen lentur lapangan : 62.190.238,22 Nmm



Gambar 4.32. Diagram Gaya Momen Lentur Lapangan Balok Anak

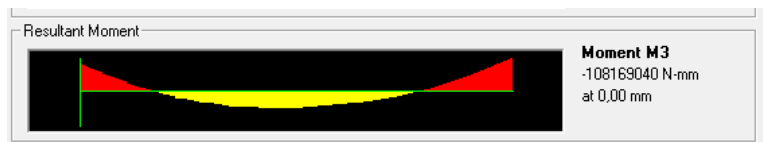
Kombinasi : $1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$

Momen lentur tumpuan kanan : -129.498.568 Nmm



Gambar 4.33. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Anak

Kombinasi : $1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$
 Momen lentur tumpuan kiri : -108.169.040 Nmm



Gambar 4.34. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Anak

Hasil output diagram gaya geser

Berdasarkan SNI 03-2857-2013 Pasal 21.3.4.2 sengkang pertaman harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Maka, V_u diambil sebesar :

Kombinasi : $1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$
 Gaya geser : 66.279,95 N



Gambar 4.35. Diagram Gaya Geser Balok Anak

- Syarat gaya aksial pada balok:
 Balok harus memenuhi persyaratan batas gaya tekan aksial *SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.2*. Sesuai ketentuan

SRPMM bahwa gaya tekan aksial terfaktor, ***Pu***, untuk komponen struktur tidak melebihi ***Ag.fc'/10*** dengan perhitungan dibawah ini :

$$\frac{Ag \cdot fc'}{10} = \frac{300 \text{ mm} \times 450 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2}{10}$$

$$= 337.500 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L pada komponen struktur yang ditinjau sebesar 2.882,74 N

Maka, sesuai persamaan :

$$Pu < \frac{Ag \cdot fc'}{10}$$

$$2.882,74 \text{ N} < 337.500 \text{ N}$$

- Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$A_{cp} = 300 \text{ mm} \times 450 \text{ mm}$$

$$A_{cp} = 135.000 \text{ mm}^2$$

Perimeter luar irisan penampang beton Acp :

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 \times (300 \text{ mm} + 450 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 1.500 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser})$$

$$A_{oh} = (300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm}) \times (450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 74.464 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm}) + (450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm})]$$

$$P_{oh} = 1.132 \text{ mm}$$

- Perhitungan tulangan puntir

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L.

Momen puntir ultimate:

$$T_u = 439.658,21 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{439.658,21 \text{ Nmm}}{0,75} = 586.210,95 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini.

$$T_{u \text{ min}} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_{u \text{ min}} = 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{135.000^2}{1.500} \right)$$

$$T_{u \text{ min}} = 3.781.687,5 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$T_u \text{ max} = \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_u \text{ max} = 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{135.000^2}{1.500} \right)$$

$$T_u \text{ max} = 15.035.625 \text{ Nmm}$$

Cek pengaruh puntir

$T_u < T_u \text{ min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_u \text{ min}$, maka memerlukan tulangan puntir

$T_u > T_u \text{ min}$

439.658,21 Nmm < 3.781.687,5 Nmm (**tulangan puntir diabaikan**)

Jadi, penampang balok tidak memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang dan sengkang tertutup.

- Perhitungan tulangan lentur

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$Xb = \frac{600}{600 + 400} \times 388,5 \text{ mm}$$

$$Xb = 233,1 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times Xb$$

$$X_{max} = 0,75 \times 233,1 \text{ mm}$$

$$X_{max} = 174,83 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{min} = d'$$

$$X_{min} = 61,5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85 f_{c'} b \beta_1 X_{rencana}$$

$$Cc' = 0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm} \times 0,85 \times 150 \text{ mm}$$

$$Cc' = 812.812,50 \text{ N}$$

Luasan tulangan

$$A_{sc} = \frac{Cc'}{f_y} = \frac{812.812,50 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2}$$

$$A_{sc} = 2.032,03 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 2.032,03 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(388,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 150 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 263.960.859,38 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_{c'} \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,75 \left(\frac{0,85.25 \text{ MPa} \cdot 0,85}{400 \text{ MPa}} \right) \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\
 &= 0,0203 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\
 &= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \cdot 25 \text{ MPa}} \\
 &= 18,824
 \end{aligned}$$

DAERAH TUMPUAN KANAN

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan balok anak menggunakan momen terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 129.498.568 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 Mn &= \frac{129.498.568 \text{ Nmm}}{0,8} = 161.873.210 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 161.873.210 \text{ Nmm} - 263.960.859,38 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -102.087.649,38 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{161.873.210 \text{ N.mm}}{300 \text{ mm} \cdot (388,5 \text{ mm})^2} = 3,575 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 3,575 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) = 0,00985$$

Syarat:

$$\begin{array}{ccccc} \rho_{\min} & < & \rho & < & \rho_{\min} \\ 0,0035 & < & 0,00985 & < & 0,0203 \text{ (Memenuhi)} \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} As & = & \rho \cdot b \cdot d = 0,00985 \times 300 \text{ mm} \times 388,5 \text{ mm} \\ & = & 1.148,1 \text{ mm}^2 \end{array}$$

Digunakan tulangan **D 19 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{1.148,1 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 4,05 \cong 5 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **5D19**.

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n \times A_{s_{tul.tarik}} \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1.417,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &\geq A_{s_{perlu}} \\ 1.417,64 \text{ mm}^2 &\geq 1.148,1 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{s'_{perlu}} &= 0,3 \times A_{s_{pasang}} \\ &= 0,3 \times 1.417,64 \text{ mm}^2 \\ &= 425,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s'_{perlu}}}{Luasan \text{ tulangan}}$$

$$n = \frac{425,29 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,5 \cong 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D19**.

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &= n \times A_{s_{tul.tekan}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &\geq A_{s'_{perlu}} \\ 567,06 \text{ mm}^2 &\geq 425,29 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{300 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (5x19 \text{ mm})}{5 - 1} \\
 &= 25,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl}
 S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\
 25,25 \text{ mm} & < & 30 \text{ mm}
 \end{array}$$

(TIDAK MEMENUHI)

Maka, tulangan disusun lebih dari 1 lapis.

Dipasang:

$$\text{Lapis 1} = 3D19$$

$$\text{Lapis 2} = 2D19$$

Kontrol:

Lapis 1

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{300 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (3x19 \text{ mm})}{3 - 1} \\
 &= 69,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl}
 S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\
 69,5 \text{ mm} & > & 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{array}$$

Lapis 2

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{300 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (2x19 \text{ mm})}{2 - 1} \\
 &= 158 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl}
 S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\
 158 \text{ mm} & > & 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{array}$$

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 12 \text{ mm}) - (2 \times 19 \text{ mm})}{2 - 1} \\
 &= 158 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl}
 S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\
 158 \text{ mm} & > & 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{array}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok anak melintang lantai 2 30/45 untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik lapis 1 = **3D19**

Tulangan lentur tarik lapis 2 = **2D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur \text{ tumpuan}(+) } \geq \frac{1}{3} M_{lentur \text{ tumpuan}(-)}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **5D19**.

$$\begin{aligned}
 A_{spasang} &= n \times A_{s_{tul.tarik}} \\
 &= 5 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\
 &= 1.417,64 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D19**.

$$\begin{aligned} A_s'_{\text{pasang}} &= n \times A_{s_{\text{tul.tekan}}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur tumpuan}(+) } &\geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan}(-)} \\ 567,06 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 1.417,64 \text{ mm}^2 \\ 567,06 \text{ mm}^2 &> 472,55 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah tumpuan kanan, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **5D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{s_{\text{pasang}}}$ tulangan tarik **5D19** = 1417,64 mm²

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b} \\ a &= \frac{1417,64 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}} \\ a &= 88,95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$C c' = 0,85 \times b \times f c' \times a$$

$$C c' = 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 88,95 \text{ mm}$$

$$C c' = 567.057,47 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai} \times f_y$$

$$T = 1417,64 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 567.057,47 \text{ N}$$

$$Mn = \left(C c' x \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$Mn = \left(567.057,47 \text{ N} \times \left(388,5 \text{ mm} - \frac{88,95 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$Mn = 195.081.893,05 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta . Mn \text{ pasang} > Mu$$

$$0,8 \times 195.081.893,05 \text{ Nmm} > 129.498.568 \text{ Nmm}$$

$$156.065.514,44 \text{ Nmm} > 129.498.568 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak melintang lantai 2 30/45 dengan bentang 10 m untuk daerah tumpuan kanan adalah:

Tulangan lentur tarik lapis 1 = **3D19**

Tulangan lentur tarik lapis 2 = **2D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

DAERAH TUMPUAN KIRI

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri balok anak menggunakan momen terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 108.169.040 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn = \frac{108.169.040 \text{ Nmm}}{0,8} = 135.211.300 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 135.211.300 \text{ Nmm} - 263.960.859,38 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -128.749.559,38 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{135.211.300 \text{ N.mm}}{300 \text{ mm} \cdot (388,5 \text{ mm})^2} = 2,99 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 2,99 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) = 0,00808$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\min}$$

$$0,0035 < 0,00808 < 0,0203 \text{ (Memenuhi)}$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00808 \times 300 \text{ mm} \times 388,5 \text{ mm} = 941,70 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **D 19 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan \text{ tulangan}}$$

$$n = \frac{941,7 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 3,32 \cong 5 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **5D19**.

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \times As_{\text{tul. tarik}} \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1.417,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &\geq As_{\text{perlu}} \\ 1.417,64 \text{ mm}^2 &\geq 941,70 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} As'_{\text{perlu}} &= 0,3 \times As_{\text{pasang}} \\ &= 0,3 \times 1.417,64 \text{ mm}^2 \\ &= 425,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{As'_{\text{perlu}}}{Luasan \text{ tulangan}}$$

$$n = \frac{425,29 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,5 \cong 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D19**.

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \times As_{\text{tul. tekan}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &\geq As'_{\text{perlu}} \\ 567,06 \text{ mm}^2 &\geq 425,29 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{maks} &\leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\ &= \frac{300 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (5x19 \text{ mm})}{5 - 1} \\ &= 25,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{ccc} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 25,25 \text{ mm} & < & 30 \text{ mm} \end{array}$$

(TIDAK MEMENUHI)

Maka, tulangan disusun lebih dari 1 lapis.

Dipasang:

$$\text{Lapis 1} = 3D19$$

$$\text{Lapis 2} = 2D19$$

Kontrol:

Lapis 1

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\ &= \frac{300 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (3x19 \text{ mm})}{3 - 1} \\ &= 69,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{ccc} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 69,5 \text{ mm} & > & 30 \text{ mm} \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Lapis 2

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{300 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (2x19 \text{ mm})}{2 - 1} \\
 &= 158 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl}
 S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\
 158 \text{ mm} & > & 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{array}$$

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{300 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (2x19 \text{ mm})}{2 - 1} \\
 &= 158 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl}
 S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\
 158 \text{ mm} & > & 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{array}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok anak melintang lantai 2 30/45 untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik lapis 1 = **3D19**

Tulangan lentur tarik lapis 2 = **2D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang

panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **5D19**.

$$\begin{aligned} A_{spasang} &= n \times A_{Stul.tarik} \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19\text{ mm})^2 \\ &= 1.417,64\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D19**.

$$\begin{aligned} A_{s' pasang} &= n \times A_{Stul.tekan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19\text{ mm})^2 \\ &= 567,06\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

$$567,06\text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1.417,64\text{ mm}^2$$

$$567,06\text{ mm}^2 > 472,55\text{ mm}^2$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 2 lapis = **5D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{spasang}$ tulangan tarik **5D19** = 1417,64 mm²

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{1417,64\text{ mm}^2 \times 400\text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25\text{ N/mm}^2 \times 300\text{ mm}}$$

$$a = 88,95\text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f'c' \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 88,95 \text{ mm}$$

$$Cc' = 567.057,47 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai} \times f_y$$

$$T = 1417,64 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 567.057,47 \text{ N}$$

$$Mn = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$Mn = \left(567.057,47 \text{ N} \times \left(388,5 \text{ mm} - \frac{88,95 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$Mn = 195.081.893,05 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta \cdot Mn \text{ pasang} > Mu$$

$$0,8 \times 195.081.893,05 \text{ Nmm} > 108.269.040 \text{ Nmm}$$

$$156.065.514,44 \text{ Nmm} > 108.269.040 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak melintang lantai 2 30/45 dengan bentang 10 m untuk daerah tumpuan kiri adalah:

Tulangan lentur tarik lapis 1 = **3D19**

Tulangan lentur tarik lapis 2 = **2D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

DAERAH LAPANGAN

Perhitungan tulangan lentur lapangan balok anak menggunakan momen terbesar akibat kombinasi $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 62.190.238,22 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{62.190.238,22 \text{ Nmm}}{0,8} = 77.737.797,78 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 77.737.797,78 \text{ Nmm} - 263.960.859,38 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -186.223.061,38 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{77.737.797,78 \text{ N.mm}}{300 \text{ mm} \cdot (388,5 \text{ mm})^2}$$

$$= 1,717 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 1,717 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$= 0,00448$$

Syarat:

$$\begin{array}{ccccc} \rho_{\min} & < & \rho & < & \rho_{\min} \\ 0,0035 & < & 0,00448 & < & 0,0203 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{array}$$

$$\begin{aligned} A_s &= p.b.d = 0,00448 \times 300 \text{ mm} \times 388,5 \text{ mm} \\ &= 522,27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D 19 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{522,27 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,84 \cong 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **3D19**.

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times A_{s \text{ tul. tarik}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{array}{ccc} A_{s \text{ pasang}} & \geq & A_{s \text{ perlu}} \\ 850,59 \text{ mm}^2 & \geq & 522,27 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{array}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_s' \text{ perlu} &= 0,3 \times A_{s \text{ pasang}} \\ &= 0,3 \times 850,59 \text{ mm}^2 \\ &= 255,18 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{As'_{perlu}}{Luasan tulangan}$$

$$n = \frac{255,18 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,9 \cong 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D19**.

$$\begin{aligned} As'_{pasang} &= n \times As_{tul.tekan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} As'_{pasang} &\geq As'_{perlu} \\ 567,06 \text{ mm}^2 &\geq 255,18 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{maks} &\leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\ &= \frac{300 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (3x19 \text{ mm})}{3 - 1} \\ &= 69,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} \\ 69,5 \text{ mm} &> 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\ &= \frac{300 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (2x19 \text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 158 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 158 \text{ mm} & > & 30 \text{ mm} \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok anak melintang lantai 2 30/45 untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur \text{ tumpuan}}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur \text{ tumpuan}}(-)$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **3D19**.

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &= n \times A_{Stul.tarik} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D19**.

$$\begin{aligned} A_{S'_{pasang}} &= n \times A_{Stul.tekan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentukumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentukumpuan}(-)$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 850,59 \text{ mm}^2$$

$$567,06 \text{ mm}^2 > 283,53 \text{ mm}^2$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{s\text{pasang}}$ tulangan tarik **3D19** = 850,59 mm²

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{850,59 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 53,37 \text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 53,37 \text{ mm}$$

$$Cc' = 340.234,48 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai} \times f_y$$

$$T = 850,59 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 340.234,48 \text{ N}$$

$$Mn = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$Mn = \left(340.234,48 \text{ N} \times \left(388,5 \text{ mm} - \frac{53,37 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$Mn = 123.101.920,37 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta. Mn pasang > Mu$$

$$0,8 \times 123.101.920,37 \text{ Nmm} > 62.190.238,22 \text{ Nmm}$$

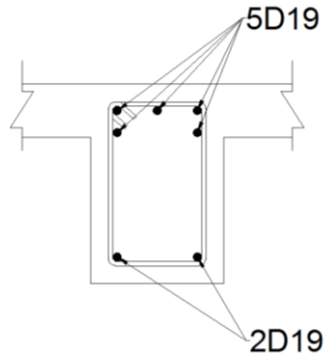
$$98.481.536,30 \text{ Nmm} > 62.190.238,22 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

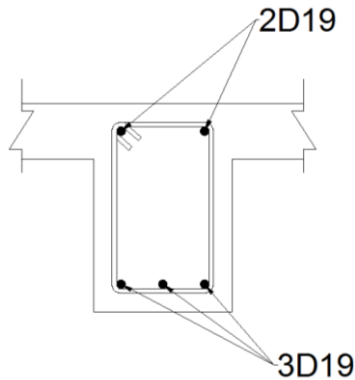
Jadi, penulangan lentur untuk balok anak melintang lantai 2 30/45 dengan bentang 10 m untuk daerah lapangan adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**



**Gambar 4.36. Detail Tulangan Lentur Tumpuan
Balok Anak Melintang**



Gambar 4.37. Detail Tulangan Lentur Lapangan Balok Anak Melintang

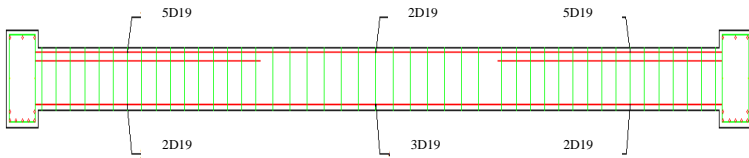
- Perhitungan tulangan geser

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok anak. Luasan tulangan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan momen nominal kanan.

Berdasarkan hasil SAP 2000, gaya terfaktor geser terbesar diperoleh dari kombinasi $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$ yaitu $V_u = 66.279,95 \text{ N}$.

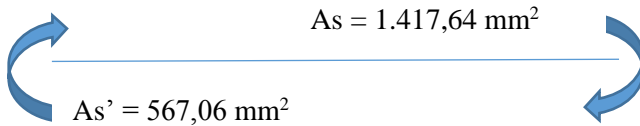
Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.



Gambar 4.38. Potongan Penampang Balok Anak Melintang Elevasi $\pm 4,2$ M

1) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan.



Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{As' \cdot fy}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{567,06 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 35,58 \text{ mm}$$

$$Mnl = As' \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnl = 567,06 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(388,5 \text{ mm} - \frac{35,58 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mnl = 84.085.541,76 \text{ Nmm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{1.417,64 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

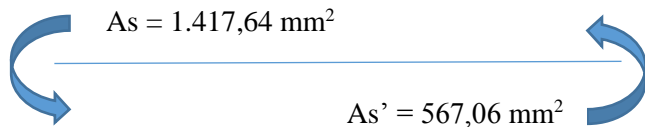
$$a = 88,95 \text{ mm}$$

$$Mnr = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnr = 1.417,64 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(388,5 \text{ mm} - \frac{88,95 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mnr = 195.081.893,05 \text{ Nmm}$$

2) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri.



Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f'c' b}$$

$$a = \frac{1.417,64 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 88,95 \text{ mm}$$

$$Mnl = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnl = 1.417,64 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(388,5 \text{ mm} - \frac{88,95 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mnl = 195.081.893,05 \text{ Nmm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{As' \cdot fy}{0,85 f'c' b}$$

$$a = \frac{567,06 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 35,58 \text{ mm}$$

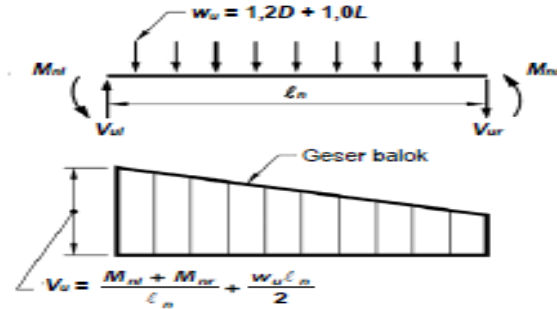
$$Mnr = As' \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 567,06 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(388,5 \text{ mm} - \frac{35,58 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{nr} = 84.085.541,76 \text{ Nmm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4.

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



Gambar 4.39. Geser Desain Untuk SRPMM

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\ell_n} + \frac{W_u \times \ell_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\ell_n} + V_u$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.3.1(a))

Keterangan :

V_{u1} : Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

L_n : Panjang bersih balok

Karena hasil M_n untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyak ke kiri maka $V_{u\text{kanan}} = V_{u\text{kiri}}$.

$$\begin{aligned} l_n &= L_{\text{balok}} - 2\left(\frac{1}{2} \cdot b_{\text{balok induk}}\right) \\ &= 10000 \text{ mm} - 2\left(\frac{1}{2} \cdot 450 \text{ mm}\right) \\ &= 9550 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan :

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u \\ V_{u1} &= \frac{84.085.541,76 \text{ Nmm} + 195.081.893,05 \text{ Nmm}}{(9550 \text{ mm})} \\ &\quad + 66.279,95 \text{ N} \\ V_{u1} &= 95.512,14 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Sesuai dengan persyaratan pada *SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2* yaitu nilai akar f_c' yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa.

$$\begin{array}{rcl} \sqrt{f_c'} & < & 8,3 \\ \sqrt{25 \text{ MPa}} & < & 8,3 \\ 5 \text{ MPa} & < & 8,3 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{array}$$

Kuat geser beton

Sesuai dengan *SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1*:

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

Dengan nilai $\lambda = 1$, untuk beton normal.

Maka,

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 300 \text{ mm} \times 388,5 \text{ mm} \\ V_c &= 97.125 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_s \text{ min} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_s \text{ min} = \frac{1}{3} \times 300 \text{ mm} \times 388,5 \text{ mm}$$

$$V_s \text{ min} = 38.850 \text{ N}$$

$$V_s \text{ max} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$V_s \text{ max} = \frac{1}{3} \times \sqrt{25} \times 300 \text{ mm} \times 388,5 \text{ mm}$$

$$V_{s\text{max}} = 194.250 \text{ N}$$

$$2 V_{s\text{max}} = 2 \times 194.250 \text{ N}$$

$$2 V_{s\text{max}} = 388.500 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Wilayah pada daerah geser balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom tengah bentang.
2. Wilayah 2 (daerah lapangan) dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke tengah bentang balok.

Perhitungan penulangan geser balok**WILAYAH 1 & 3 (TUMPUAN)**

$$V_{u1} = 95.512,14 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c$$

$$95.512,14 \text{ N} > 36.421,88 \text{ N}$$

(TIDAK MEMENUHI)

2. Kondisi 2 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot V_c$$

$$36.421,88 \text{ N} \leq 95.512,14 \text{ N} > 72.843,75 \text{ N}$$

(TIDAK MEMENUHI)

3. Kondisi 3 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{s_{\min}})$$

$$72.843,75 \text{ N} \leq 95.512,14 \text{ N} < 101.981,25 \text{ N}$$

(MEMENUHI)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok anak menggunakan persyaratan kondisi 3, yaitu memerlukan tulangan geser minimum.

Syarat spasi tulangan:

$$S_{\text{maks}} \leq d/4 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} = d/4$$

$$= 388,5 \text{ mm}/4$$

$$= 97,125 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Digunakan spasi tulangan minimum 90 mm.

Kontrol:

$$S < S_{\text{maks}}$$

$$90 \text{ mm} < 97,125 \text{ mm}$$

Luas tulangan geser minimum:

$$A_{v_{\min}} = \frac{bw \cdot s}{3f_y}$$

$$Av_{min} = \frac{300 \text{ mm} \cdot 90 \text{ mm}}{3.320 \text{ N/mm}^2}$$

$$Av_{min} = 28,13 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$Av = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$Av = \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (12 \text{ mm})^2 \times 2$$

$$Av = 226,19 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$\begin{array}{ccc} Av & > & Av_{min} \\ 226,19 \text{ mm}^2 & > & 28,13 \text{ mm}^2 \end{array} \quad \text{(MEMENUHI)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih 50 mm dari perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

Cek persyaratan :

- $S_{pakai} < d/4$

$$\begin{array}{llll}
 90 \text{ mm} & < & 388,5 \text{ mm/4} & \\
 90 \text{ mm} & < & 97,125 \text{ mm} & \text{(MEMENUHI)} \\
 \text{b. } S_{\text{pakai}} & < & 8 \times D_{\text{lentur}} & \\
 90 \text{ mm} & < & 8 \times 19 \text{ mm} & \\
 90 \text{ mm} & < & 152 \text{ mm} & \text{(MEMENUHI)} \\
 \text{c. } S_{\text{pakai}} & < & 24 \times D_{\text{geser}} & \\
 90 \text{ mm} & < & 24 \times 12 \text{ mm} & \\
 90 \text{ mm} & < & 288 \text{ mm} & \text{(MEMENUHI)} \\
 \text{d. } S_{\text{pakai}} & < & 300 \text{ mm} & \\
 90 \text{ mm} & < & 300 \text{ mm} & \\
 90 \text{ mm} & < & 300 \text{ mm} & \text{(MEMENUHI)}
 \end{array}$$

Maka, digunakan tulangan geser (senggang) Ø12-90mm pada daerah tumpuan kiri dan kanan dipasang sejarak 50mm dari ujung perletakan balok.

WILAYAH 2 (LAPANGAN)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{Vu2}{0,5 \ln - 2h} &= \frac{Vu1}{0,5 \ln} \\
 Vu2 &= \frac{Vu1 \times (0,5 \ln - 2h)}{0,5 \ln} \\
 Vu2 &= \frac{95.512,14 \text{ N} \times (0,5 \times (9.550 \text{ mm}) - 2 \times 450 \text{ mm})}{0,5 \times (9.550 \text{ mm})} \\
 Vu2 &= 77.509,85 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c$$

$$77.509,85 \text{ N} > 36.843,75 \text{ N}$$

(TIDAK MEMENUHI)

2. Kondisi 2 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot V_c$$

$$36.421,88 \text{ N} \leq 77.509,85 \text{ N} > 72.843,75 \text{ N}$$

(TIDAK MEMENUHI)

3. Kondisi 3 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{smin})$$

$$72.843,75 \text{ N} \leq 77.509,85 \text{ N} < 101.981,25 \text{ N}$$

(MEMENUHI)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok anak menggunakan persyaratan kondisi 3, yaitu memerlukan tulangan geser minimum.

Syarat spasi tulangan:

$$S_{maks} \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = \frac{d}{2}$$

$$= \frac{388,5 \text{ mm}}{2}$$

$$= 194,25 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Digunakan spasi tulangan minimum 150 mm.

Kontrol:

$$S < S_{maks}$$

$$150 \text{ mm} < 194,25 \text{ mm}$$

Luas tulangan geser minimum:

$$Av_{min} = \frac{bw \cdot s}{3fy}$$

$$Av_{min} = \frac{300 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}}{3 \cdot 320 \text{ N/mm}^2}$$

$$Av_{min} = 46,88 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$Av = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$Av = \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (12\text{mm})^2 \times 2$$

$$Av = 226,19 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$\begin{array}{ccc} Av & > & Av_{min} \\ 226,19 \text{ mm}^2 & > & 46,88 \text{ mm}^2 \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok

Pada sepanjang panjang komponen struktur lentur spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/2$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

Cek persyaratan :

$$\begin{array}{ccc} \text{a. } S_{pakai} & < & d/2 \\ 150 \text{ mm} & < & 388,5 \text{ mm}/2 \\ 150 \text{ mm} & < & 194,25 \text{ mm} \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

$$\begin{array}{ccc} \text{b. } S_{pakai} & < & 8 \times D_{lentur} \\ 150 \text{ mm} & < & 8 \times 19 \text{ mm} \\ 150 \text{ mm} & < & 152 \text{ mm} \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

$$\text{c. } S_{pakai} < 24 \times D_{geser}$$

$$\begin{aligned}
 150 \text{ mm} &< 24 \times 12 \text{ mm} \\
 150 \text{ mm} &< 288 \text{ mm} && \text{(MEMENUHI)} \\
 \text{d. } S_{\text{pakai}} &< 300 \text{ mm} \\
 150 \text{ mm} &< 300 \text{ mm} \\
 150 \text{ mm} &< 300 \text{ mm} && \text{(MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan geser (senggang) Ø12-150mm pada daerah lapangan.

- **Perhitungan panjang penyaluran**

Panjang penyaluran untuk tulangan lentur D19 dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2, 12.3 dan 12.5.

1) Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik.

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_{c}}} \right) db \geq 300 \text{ mm}$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 \Psi_t &= \text{faktor lokasi tulangan,} && 1 \\
 \Psi_e &= \text{faktor pelapis tulangan,} && 1 \\
 \lambda &= \text{beton normal,} && 1
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 l_d &= \left(\frac{400 \text{ MPa} \cdot 1.1}{2,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{25 \text{ MPa}}} \right) 19 \text{ mm} \\
 l_d &= 723,81 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}
 l_d &> 300 \text{ mm} \\
 723,81 \text{ mm} &> 300 \text{ mm} && \text{(MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{d_{reduksi}} = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{pasang}}} l_d$$

$$l_{d_{reduksi}} = \frac{1.148,1 \text{ mm}^2}{1.417,64 \text{ mm}^2} 723,81 \text{ mm}$$

$$l_{d_{reduksi}} = 586,19 \text{ mm} \approx 600 \text{ mm}$$

2) Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan.

$$l_{dc} = \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \cdot 400 \text{ MPa}}{1 \sqrt{25 \text{ MPa}}} \cdot 19 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 364,8 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043 f_y d_b$$

$$l_{dc} = 0,043 \cdot 400 \text{ MPa} \cdot 19 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 258,4 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $l_{dc} = 364,8 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{dc_{reduksi}} = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{pasang}}} l_{dc}$$

$$l_{dc_{reduksi}} = \frac{425,29 \text{ mm}^2}{567,96 \text{ mm}^2} 364,8 \text{ mm}$$

$$l_{dc_{reduksi}} = 273,6 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

3) Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik.

$$l_{dh} = \frac{0,24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \cdot 400 \text{ MPa}}{1 \sqrt{25 \text{ MPa}}} \cdot 19 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 364,8 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

$$8d_b = 8 \cdot (19 \text{ mm})$$

$$= 152 \text{ mm}$$

Syarat:

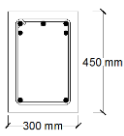
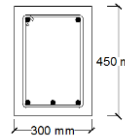
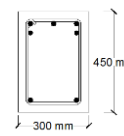
$$l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$400 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

$$l_{dh} > 8d_b \text{ mm}$$

$$400 \text{ mm} > 152 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

- Kesimpulan penulangan

Type	BA1		
Wilayah	Tumpuan kiri	Lapangan	Tumpuan kanan
Balok anak melintang lantai 2			
Dimensi	300 x 450	300 x 450	300 x 450
Tul. Atas	5D19	2D19	5D19
Tul. Sisi	-	-	-
Tul. Bawah	2D19	3D19	2D19
Sengkang	Ø12-90	Ø12-150	Ø12-90

4.4.3.3. Balok Induk

Perhitungan tulangan balok induk diambil dari data balok induk melintang BI1 (450x700) mm as E joint 3-4 pada elevasi $\pm 4,2$ m. Berikut ialah data perencanaan balok induk, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yang selanjutnya akan dihitung menggunakan metode SRPMM.

➤ Data-data perencanaan:

Tipe balok	: BI1
Bentang balok (L balok)	: 10.000 mm
Dimensi balok (b balok)	: 450 mm
Dimensi balok (h balok)	: 700 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 320 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D)	: 25 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset)	: 12 mm
Diameter tulangan puntir (D)	: 16 mm
Spasi antar tulangan sejajar	: 30 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.1)

Tebal selimut beton (desking)	: 40 mm
-------------------------------	---------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1(c))

Faktor β_1	: 0,85
------------------	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,8
---	-------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.1)

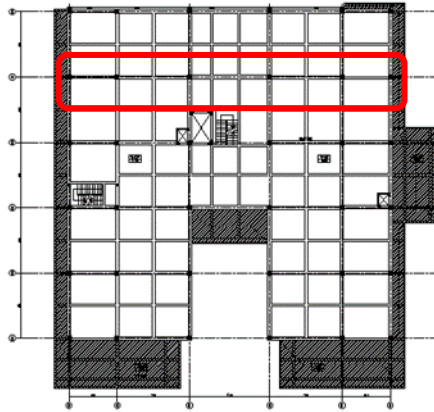
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
--	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ) : 0,75

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

➤ Gambar denah perencanaan:



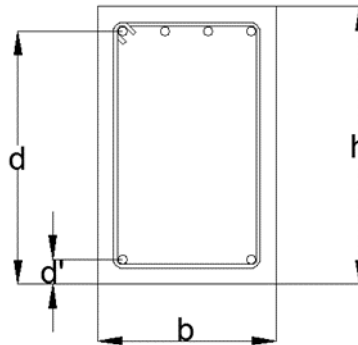
**Gambar 4.40. Denah Balok Induk Yang Ditinjau
Tipe Balok BI1**

➤ Perhitungan penulangan balok:

- Tinggi efektif balok:

$$\begin{aligned} d &= h - t_{\text{decking}} - \phi_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \times 25 \text{ mm} \right) \\ &= 635,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= t_{\text{decking}} + \phi_{\text{tulangan geser}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 40 \text{ mm} + 12 \text{ mm} + \left(\frac{1}{2} \times 25 \text{ mm} \right) \\ &= 64,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.41. Tinggi Efektif Balok Induk

- Hasil Output SAP 2000:

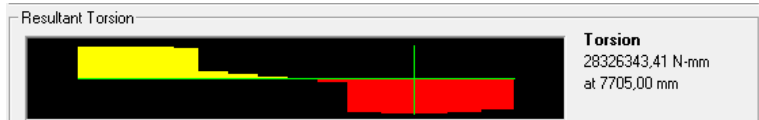
Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok.

Untuk hasil analisa perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$ merupakan kombinasi kritis di dalam permodelan.

Hasil output torsi

Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$

Momen puntir : 28.326.343,41 Nmm

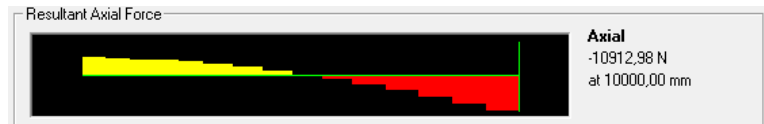


Gambar 4.42. Diagram Gaya Torsi Balok Induk

Hasil output aksial

Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$

Momen aksial : 10.912,98 N

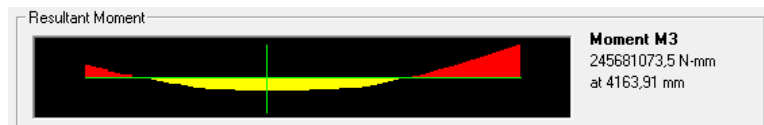


Gambar 4.43. Diagram Gaya Aksial Balok Induk

Hasil output momen lentur

Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$

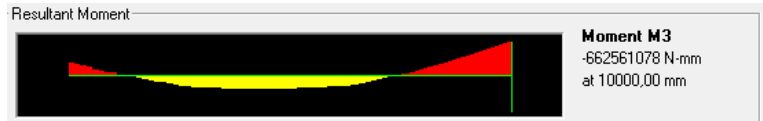
Momen lentur lapangan : 245.681.073,35 Nmm



Gambar 4.44. Diagram Gaya Momen Lentur Lapangan Balok Induk

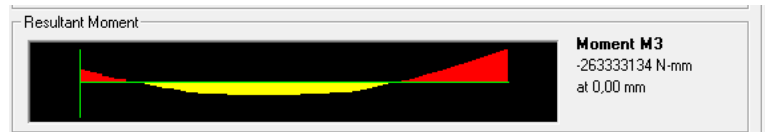
Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$

Momen lentur tumpuan kanan : -662.561.078 Nmm



Gambar 4.45. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Induk

Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$
 Momen lentur tumpuan kiri : - 263.333.134 Nmm



Gambar 4.46. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Induk

Hasil output diagram gaya geser

Berdasarkan SNI 03-2857-2013 Pasal 21.3.4.2 sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Maka, Vu diambil sebesar :

Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$
 Momen lentur tumpuan kiri : 286.667,46 Nmm



Gambar 4.47. Diagram Gaya Geser Balok Induk

- Syarat gaya aksial pada balok:

Balok harus memenuhi persyaratan batas gaya tekan aksial *SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.2*. Sesuai ketentuan SRPMM bahwa gaya tekan aksial terfaktor, ***Pu***, untuk komponen struktur tidak melebihi ***Ag.fc'/10*** dengan perhitungan dibawah ini :

$$\frac{Ag \cdot fc'}{10} = \frac{450 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2}{10}$$

$$= 787.500 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L pada komponen struktur yang ditinjau sebesar 10.912,96 N

Maka, sesuai persamaan :

$$Pu < \frac{Ag \cdot fc'}{10}$$

$$10.912,96 \text{ N} < 787.500 \text{ N}$$

- Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$A_{cp} = 450 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$$

$$A_{cp} = 315.000 \text{ mm}^2$$

Perimeter luar irisan penampang beton Acp :

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 \times (450 \text{ mm} + 700 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 2.300 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser})$$

$$A_{oh} = (450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm}) \times (700 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 217.664 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm}) + (700 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm})]$$

$$P_{oh} = 1.932 \text{ mm}$$

- Perhitungan tulangan puntir

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L.

Momen puntir ultimate:

$$T_u = -28.326.343,41 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{28.326.343,41 \text{ Nmm}}{0,75} = 37.768.457,88 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini.

$$T_u \text{ min} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_u \text{ min} = 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{315.000^2}{2.300} \right)$$

$$Tu_{min} = 13.427.730,98 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar :

$$Tu_{max} = \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

$$Tu_{max} = 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{315.000^2}{2.300} \right)$$

$$Tu_{max} = 53.387.364,13 \text{ Nmm}$$

Cek pengaruh puntir

$Tu < Tu_{min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$Tu > Tu_{min}$, maka memerlukan tulangan puntir

$Tu < Tu_{min}$

$$28.326.343,41 \text{ Nmm} > 13.427.730,98 \text{ Nmm}$$

(tulangan puntir diperhitungkan)

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang dan sengkang-sengkang tertutup.

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3** :

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{Tu \cdot Ph}{1,7 \times A_o h^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{\frac{1}{6} \sqrt{f'c'} \times b \times d}{b \times d} + \left(\frac{2 \sqrt{f'c'}}{3} \right) \right)$$

$$1,21 \leq 3,10 \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Maka penampang balok induk mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan puntir untuk lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut.

$$Al = \frac{At}{s} \times Poh \times \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \times \cot^2 \phi$$

Dengan At/s dihitung sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan berikut :

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot \phi}$$

Dengan $A_o = 0,85A_{oh}$ dan untuk beton non-prategang $\phi = 45^\circ$

Maka :

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85A_{oh} \\ &= 0,85 \times 217.664 \text{ mm}^2 \\ &= 185.014 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot \phi}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{37.768.457,88 \text{ Nmm}}{2 \times 185.014 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \cot 45^\circ}$$

$$\frac{At}{s} = 0,413 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan puntir untuk lentur :

$$Al = \frac{At}{s} \times Poh \times \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \times \cot^2 \phi$$

$$Al = 0,413 \text{ mm} \times 1.932 \text{ mm} \times \left(\frac{400 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \right) \times \cot^2 45$$

$$Al = 304,36 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan *SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.5.3* tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan :

$$\frac{At}{s} \geq \frac{0,175 \times bw}{f_{yt}}$$

$$0,413 \text{ mm} \geq \frac{0,175 \times 450 \text{ mm}}{400 \text{ N/mm}^2}$$

$$0,413 \text{ mm} \geq 0,197 \text{ mm}$$

Maka nilai At/s diambil 0,413 mm

Periksa nilai Al min dengan persamaan :

$$Al \text{ min} = \left(\frac{0,42 \times \sqrt{f'c} \times Acp}{f_y} \right) - \frac{At}{s} \times P_{oh} \times \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$Al \text{ min} = \left(\frac{0,42 \times \sqrt{25} \times 315.000 \text{ mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \right) \times$$

$$- 0,413 \text{ mm} \times 1.932 \text{ mm} \times \frac{400 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}$$

$$Al \text{ min} = 855,21 \text{ mm}^2$$

Periksa penggunaan Al dengan 2 kondisi sebagai berikut.

$Al \text{ perlu} \leq Al \text{ min}$, maka menggunakan $Al \text{ min}$

$Al \text{ perlu} \geq Al \text{ min}$, maka menggunakan $Al \text{ perlu}$

Maka :

$Al \text{ perlu} \leq Al \text{ min}$

$304,36 \text{ mm}^2 < 855,21 \text{ mm}^2$

sehingga digunakan Al sebesar $855,21 \text{ mm}^2$.

Dipakai luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata pada empat sisi penampang balok sehingga diperoleh kebutuhan luasan tulangan tiap sisinya, yaitu:

$$\frac{Al}{4} = \frac{855,21 \text{ mm}^2}{4} = 213,8 \text{ mm}^2$$

Penyebaran penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi setiap sisinya :

- Sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok
- Sisi bawah : dialurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $213,8 \text{ mm}^2$.

Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar:

$$2 \times \frac{Al}{4} = 2 \times \frac{855,21 \text{ mm}^2}{4} = 427,61 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D 16 mm pada tulangan puntir pada 2 sisi yaitu sisi kiri dan sisi kanan sejumlah :

$$n = \frac{As}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{427,61 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 2,13 \cong 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir **4D16**.

$$\begin{aligned} A_{\text{spasang}} &= n \times A_{\text{tul.puntir}} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2 \\ &= 804,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{\text{spasang}} &\geq A_{\text{sperlu}} \\ 804,24 \text{ mm}^2 &\geq 427,61 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir ditumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan sebesar **4D16**.

- Perhitungan tulangan lentur

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$Xb = \frac{600}{600 + 400} \times 635,5 \text{ mm}$$

$$Xb = 381,3 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times Xb$$

$$X_{max} = 0,75 \times 381,3 \text{ mm}$$

$$X_{max} = 285,98 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{min} = d'$$

$$X_{min} = 64,5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana}$$

$$Cc' = 0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm} \times 0,85 \times 150 \text{ mm}$$

$$Cc' = 1.219.218,75 \text{ N}$$

Luasan tulangan

$$Asc = \frac{Cc'}{f_y} = \frac{1.219.218,75 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2}$$

$$Asc = 3.048,05 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 3.048,05 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(635,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 150 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 697.088.320,31 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0,85}{400 \text{ MPa}} \right) \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \cdot 25 \text{ MPa}} \\ &= 18,824 \end{aligned}$$

DAERAH TUMPUAN KANAN

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan balok induk menggunakan momen terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 662.561.078 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$M_n = \frac{Mu}{\phi}$$

$$M_n = \frac{662.561.078 \text{ Nmm}}{0,8} = 828.201.347,5 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 828.201.347,5 \text{ Nmm} - 697.088.320,31 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = 131.113.027,19 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} > 0$$

Sehingga perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur rangkap.

Perencanaan Tulangan Lentur Rangkap

$$C'_s = T_2 = \frac{M_n - M_{nc}}{(d - d')}$$

$$C'_s = T_2 = \frac{131.113.027,19 \text{ Nmm}}{(635,5 \text{ mm} - 64,5 \text{ mm})}$$

$$C'_s = T_2 = 229.620,01 \text{ N}$$

Kontrol tulangan tekan

$$f'_s = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600$$

$$f'_s = \left(1 - \frac{64,5 \text{ mm}}{150 \text{ mm}}\right) 600$$

$$f'_s = 342$$

Kontrol :

$$f'_s < f_y$$

$$342 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa} \quad \textbf{(tidak leleh)}$$

Sehingga tulangan tekan dianggap tidak leleh dan untuk nilai $f_s' = f_s'$.

Hitung tulangan tekan perlu dan tulangan tarik tambahan

Tulangan tekan perlu (A_s')

$$A_s' = \frac{C s'}{(f_s' - 0,85 \cdot f_c')}$$

$$A_s' = \frac{229.620,01 \text{ N}}{(342 \text{ N/mm}^2 - 0,85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2)}$$

$$A_s' = 715,88 \text{ mm}^2$$

Tulangan tarik tambahan (A_{ss})

$$A_{ss} = \frac{T_2}{f_y}$$

$$A_{ss} = \frac{229.620,01 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2}$$

$$A_{ss} = 574,05 \text{ mm}^2$$

Sehingga,

Tulangan tarik perlu:

$$A_s = A_{sc} + A_{ss}$$

$$= 3.048,05 \text{ mm}^2 + 574,05 \text{ mm}^2$$

$$= 3.622,1 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$A_{s\text{perlu}} = A_s + \frac{A_l}{4}$$

$$= 3.622,1 \text{ mm}^2 + 213,8 \text{ mm}^2$$

$$= 3.835,9 \text{ mm}^2$$

Tulangan tekan perlu:

$$\begin{aligned} A_s' &= A_s' \\ &= 715,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_s'_{\text{perlu}} &= A_s' + A_l/4 \\ &= 715,88 \text{ mm}^2 + 213,8 \text{ mm}^2 \\ &= 929,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan

$$\begin{aligned} \phi \cdot Mn &\geq Mu \\ 0,8 \cdot 828.201.347,5 \text{ Nmm} &\geq 662.561.078 \text{ Nmm} \\ 662.561.078 \text{ Nmm} &\geq 662.561.078 \text{ Nmm} \\ \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D 25 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{3.835,9 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (25\text{mm})^2}$$

$$n = 7,81 \cong 8 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **8D25**.

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \times A_{s\text{tul.tarik}} \\ &= 8 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\ &= 3.926,99 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &\geq A_{s\text{perlu}} \\ 3926,99\text{mm}^2 &\geq 3835,9 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$As'_{\text{perlu}} = 929,69 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As'_{\text{perlu}}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{929,69 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (25 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,89 \cong 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **3D25**.

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \times As_{\text{tul.tekan}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\ &= 1.472,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &\geq As'_{\text{perlu}} \\ 1472,62 \text{ mm}^2 &\geq 929,96 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2xt_{\text{selimut}}) - (2x\phi_{\text{geser}}) - (nxD_{\text{lentur}})}{n - 1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 12 \text{ mm}) - (8 \times 25 \text{ mm})}{8 - 1} \\ &= 20,86 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} \\ 20,86 \text{ mm} &< 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

(TIDAK MEMENUHI)

Maka, tulangan disusun lebih dari 1 lapis.

Dipasang:

Lapis 1 = 6D25

Lapis 2 = 2D25

Kontrol:

Lapis 1

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (6x25 \text{ mm})}{6 - 1} \\
 &= 39,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\geq S_{sejajar} \\
 39,2 \text{ mm} &> 30 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Lapis 2

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (2x25 \text{ mm})}{2 - 1} \\
 &= 296 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\geq S_{sejajar} \\
 296 \text{ mm} &> 30 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (3x25 \text{ mm})}{3 - 1} \\
 &= 135,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 135,5 \text{ mm} & > & 30 \text{ mm} \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk 45/70 untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik lapis 1 = **6D25**

Tulangan lentur tarik lapis 2 = **2D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **3D25**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **8D25**.

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &= n \times A_{Stul.tarik} \\ &= 8 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\ &= 3.926,99 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **3D25**.

$$\begin{aligned} A_{S'_{pasang}} &= n \times A_{Stul.tekan} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\ &= 1.472,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

$$1.472,62\ mm^2 \geq 1/3 \times 3.926,99\ mm^2$$

$$1.472,62\ mm^2 > 1.308,99\ mm^2$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah tumpuan kanan, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 2 lapis = **8D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **3D25**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{Spasang}$ tulangan tarik **8D25** = 3926,99 mm²

$A_{Spasang}$ tulangan tekan **3D25** = 1472,62 mm²

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{(3926,99\ mm^2 \times 400 \frac{N}{mm^2}) - (1472,62\ mm^2 \times 342 \frac{N}{mm^2})}{0,85 \times 25\ N/mm^2 \times 450\ mm}$$

$$a = 111,6\ mm$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 450\ mm \times 25\ N/mm^2 \times 111,6\ mm$$

$$Cc' = 1.067.159,75\ N$$

$$Cs' = A_s' \text{ pakai } \times f_s'$$

$$Cs' = 1472,62\ mm^2 \times 342\ N/mm^2$$

$$Cs' = 503.636,57\ N$$

$$Mn = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d'))$$

$$Mn = \left(1.067.159,75\ N \times \left(635,5\ mm - \frac{129,15\ mm}{2} \right) \right) + (503.636,57\ N \times (635,5\ mm - 64,5\ mm))$$

$$Mn = 906.209.843,15\ Nmm$$

Kontrol :

$$\theta. Mn pasang > Mu$$

$$0,8 \times 906.209.843,15 \text{ Nmm} > 662.561.078 \text{ Nmm}$$

$$724.967.874,52 \text{ Nmm} > 662.561.078 \text{ Nmm} \text{ (MEMENUHI)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok induk melintang BII 45/70 pada elevasi $\pm 4,2$ m dengan bentang 10 m untuk daerah tumpuan kanan adalah:

Tulangan lentur tarik lapis 1 = **6D25**

Tulangan lentur tarik lapis 2 = **2D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **3D25**

DAERAH TUMPUAN KIRI

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri balok induk menggunakan momen terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 263.333.134 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn = \frac{263.333.134 \text{ Nmm}}{0,8} = 329.166.417,5 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 329.166.417,5 \text{ Nmm} - 697.088.320,31 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -367.921.902,81 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{329.166.417,5 \text{ N.mm}}{450 \text{ mm} \cdot (635,5 \text{ mm})^2} = 1,811 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 1,811 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) = 0,00474$$

Syarat:

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\min} \\ 0,0035 &< 0,00474 < 0,0203 \text{ (Memenuhi)} \\ A_s &= \rho \cdot b \cdot d = 0,00474 \times 450 \text{ mm} \times 635,5 \text{ mm} \\ &= 1.355,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 1.355,37 \text{ mm}^2 + 213,8 \text{ mm}^2 \\ &= 1.569,17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D 25 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{Luasan \text{ tulangan}}$$

$$n = \frac{1.569,17 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (25 \text{ mm})^2}$$

$$n = 3,2 \cong 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **4D25**.

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pasang}}} &= n \times A_{S_{\text{tul.tarik}}} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\ &= 1.963,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pasang}}} &\geq A_{S_{\text{perlu}}} \\ 1.963,5 \text{ mm}^2 &\geq 1.569,17 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{S'_{\text{perlu}}} &= 0,3 \times A_{S_{\text{pasang}}} \\ &= 0,3 \times 1.963,5 \text{ mm}^2 \\ &= 589,05 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{S'_{\text{perlu}}}}{Luasan \text{ tulangan}}$$

$$n = \frac{589,05 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (25 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,2 \cong 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D25**.

$$\begin{aligned} A_{S'_{\text{pasang}}} &= n \times A_{S_{\text{tul.tekan}}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{S'_{\text{pasang}}} &\geq A_{S'_{\text{perlu}}} \\ 981,75 \text{ mm}^2 &\geq 589,05 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{maks} &\leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (4x25 \text{ mm})}{4 - 1} \\ &= 82 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} \\ 82 \text{ mm} &> 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (2x25 \text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 269 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} \\ 269 \text{ mm} &> 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk melintang B11 45/70 untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang

disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **4D25**.

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &= n \times A_{Stul.tarik} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25\text{ mm})^2 \\ &= 1.963,5\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D25**.

$$\begin{aligned} A_{S'pasang} &= n \times A_{Stul.tekan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25\text{ mm})^2 \\ &= 981,75\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

$$981,75\text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1.963,5\text{ mm}^2$$

$$981,75\text{ mm}^2 > 654,5\text{ mm}^2$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

Kontrol kemampuan penampang

$$A_{Spasang\ tulangan\ tarik} \text{ **4D25** } = 1.963,5\text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{1.963,5 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

$$a = 82,13 \text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 82,13 \text{ mm}$$

$$Cc' = 785.398,16 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai} \times f_y$$

$$T = 1963,5 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 785.398,16 \text{ N}$$

$$Mn = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$Mn = \left(785.398,16 \text{ N} \times \left(635,5 \text{ mm} - \frac{82,13 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$Mn = 466.866.923,69 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta \cdot Mn \text{ pasang} > Mu$$

$$0,8 \times 466.866.923,69 \text{ Nmm} > 263.333.134 \text{ Nmm}$$

$$373.493.538,95 \text{ Nmm} > 263.333.134 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

Untuk penulangan tumpuan balok, diambil terbesar dari hasil tumpuan kanan dan tumpuan kiri. Sehingga hasil penulangan tumpuan kiri = penulangan tumpuan kanan. Jadi, penulangan lentur untuk balok induk melintang B11 45/70 dengan bentang 10 m untuk daerah tumpuan kiri adalah:

Tulangan lentur tarik lapis 1 = **6D25**

Tulangan lentur tarik lapis 2 = **2D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **3D25**

DAERAH LAPANGAN

Perhitungan tulangan lentur lapangan balok induk menggunakan momen terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 245.681.073,5 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{245.681.073,5 \text{ Nmm}}{0,8} = 307.101.341,88 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 307.101.341,88 \text{ Nmm} - 697.088.320,31 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = - 389.986.978,44 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{307.101.341,88 \text{ N.mm}}{450 \text{ mm} \cdot (635,5 \text{ mm})^2} = 1,69 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.18,824.1,69 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) = 0,00441$$

Syarat:

$$\begin{array}{llll} \rho_{\min} & < & \rho & < & \rho_{\min} \\ 0,0035 & < & 0,00441 & < & 0,0203 \text{ (Memenuhi)} \\ As & = \rho \cdot b \cdot d = 0,00441 \times 450 \text{ mm} \times 635,5 \text{ mm} \\ & = 1260,39 \text{ mm}^2 \end{array}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 1.260,39 \text{ mm}^2 + 213,8 \text{ mm}^2 \\ &= 1.474,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D 25 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan}} \\ &= \frac{1.474,19 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (25 \text{ mm})^2} \\ n &= 3 \cong 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tarik **4D25**.

$$\begin{aligned}
 A_{Spasang} &= n \times A_{Stul.tarik} \\
 &= 4 \times u^{1/4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\
 &= 1.963,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{Spasang} &\geq A_{Sperlu} \\
 1.963,5 \text{ mm}^2 &\geq 1.474,19 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned}
 A_{S'perlu} &= 0,3 \times A_{Spasang} \\
 &= 0,3 \times 1.963,5 \text{ mm}^2 \\
 &= 589,05 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{S'perlu}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{589,05 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (25 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,2 \cong 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D25**.

$$\begin{aligned}
 A_{S'pasang} &= n \times A_{Stul.tekan} \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\
 &= 981,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{S'pasang} &\geq A_{S'perlu} \\
 981,75 \text{ mm}^2 &\geq 589,05 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\
 S_{maks} &\leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}
 \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{maks} = \frac{b - (2x t_{selimut}) - (2x \phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1}$$

$$= \frac{450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 12 \text{ mm}) - (4 \times 25 \text{ mm})}{4 - 1}$$

$$= 82 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$82 \text{ mm} > 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$= \frac{450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 12 \text{ mm}) - (2 \times 25 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$= 269 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$269 \text{ mm} > 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk melintang B11 45/70 untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan}(+)} \geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan}(-)}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **4D25**.

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \times A_{s\text{tul.tarik}} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\ &= 1.963,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D25**.

$$\begin{aligned} A_{s'\text{pasang}} &= n \times A_{s\text{tul.tekan}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur tumpuan}(+) } &\geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan}(-)} \\ 981,75 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 1.963,5 \text{ mm}^2 \\ 981,75 \text{ mm}^2 &> 654,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{s\text{pasang}}$ tulangan tarik **4D25** = 1.963,5 mm²

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_{c'} b} \\ a &= \frac{1.963,5 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}} \\ a &= 82,13 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_{c'} \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 82,13 \text{ mm}$$

$$Cc' = 785.398,16 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai } x f_y$$

$$T = 1963,5 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 785.398,16 \text{ N}$$

$$M_n = \left(C c' x \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$M_n = \left(785.398,16 \text{ N} \times \left(635,5 \text{ mm} - \frac{82,13 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$M_n = 466.866.923,69 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta \cdot M_n \text{ pasang} > M_u$$

$$0,8 \times 466.866.923,69 \text{ Nmm} > 245.681.073,5 \text{ Nmm}$$

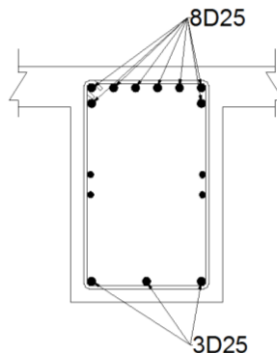
$$373.493.538,95 \text{ Nmm} > 245.681.073,5 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

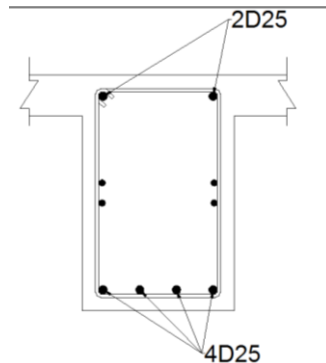
Jadi, penulangan lentur untuk balok induk melintang BI1 45/70 dengan bentang 10 m untuk daerah lapangan adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**



Gambar 4.48. Detail Tulangan Lentur Tumpuan Balok Induk Melintang



Gambar 4.49. Detail Tulangan Lentur Lapangan Balok Induk Melintang

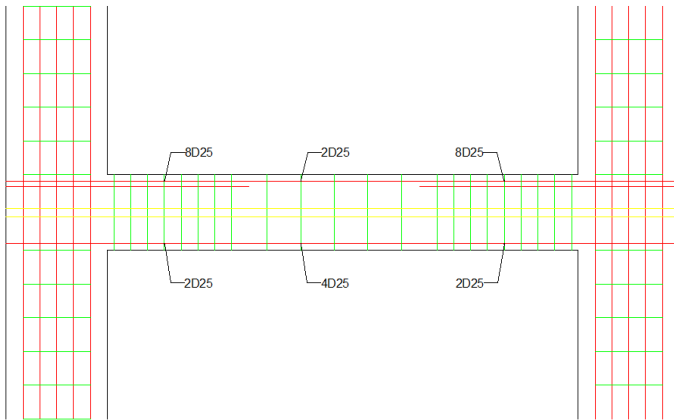
- Perhitungan tulangan geser

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok bordes. Luasan tulangan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan momen nominal kanan.

Berdasarkan hasil SAP 2000, gaya terfaktor geser terbesar diperoleh dari kombinasi $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$, yaitu $V_u = 286.667,46 \text{ N}$.

Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.



Gambar 4.50. Potongan Penampang Balok Induk Melintang.

- 1) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan.

$$\begin{array}{c}
 \curvearrowleft \hspace{10em} As = 3.926,99 \text{ mm}^2 \hspace{10em} \curvearrowright \\
 As' = 981,75 \text{ mm}^2
 \end{array}$$

Momen nominal tumpuan kiri

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As' \cdot fy}{0,85 f_c' b} \\
 a &= \frac{981,75 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}} \\
 a &= 41,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$Mnl = As' \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnl = 981,75 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(635,5 \text{ mm} - \frac{41,07 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mnl = 241.496.864,13 \text{ Nmm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f'c' b}$$

$$a = \frac{3.926,99 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

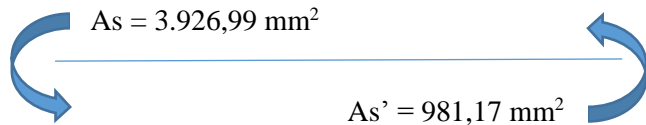
$$a = 164,27 \text{ mm}$$

$$Mnr = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnr = 3926,99 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(635,5 \text{ mm} - \frac{164,27 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mnr = 869.226.629,06 \text{ Nmm}$$

2) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri.

Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f'c' b}$$

$$a = \frac{3.926,99 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

$$a = 164,27 \text{ mm}$$

$$Mnl = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnl = 3926,99 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(635,5 \text{ mm} - \frac{164,27 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mnl = 869.226.629,06 \text{ Nmm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{As' \cdot fy}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{981,75 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

$$a = 41,07 \text{ mm}$$

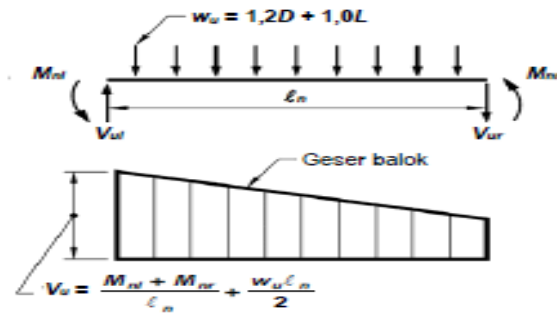
$$M_{nr} = As' \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 981,75 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(635,5 \text{ mm} - \frac{41,07 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 241.496.864,13 \text{ Nmm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4.

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



Gambar 4.51. Geser Desain Untuk SRPMM

$$Vu1 = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\ell_n} + \frac{W_u \times \ell_n}{2}$$

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + Vu$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.3.1(a))

Keterangan :

$Vu1$: Gaya geser pada muka perletakan

Mnl : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

Mnr : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan
(kanan)

Ln : Panjang bersih balok

Karena hasil Mn untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyak ke kiri maka $Vu_1 = Vu_2$.

$$\begin{aligned} l_n &= L_{\text{balok}} - 2\left(\frac{1}{2} \cdot b_{\text{kolom}}\right) \\ &= 10.000 \text{ mm} - 2\left(\frac{1}{2} \cdot 550 \text{ mm}\right) \\ &= 9450 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan :

$$\begin{aligned} Vu1 &= \frac{Mnl + Mnr}{ln} + Vu \\ Vu1 &= \frac{241.496.864,13 \text{ Nmm} + 869.226.629,06 \text{ Nmm}}{(9450 \text{ mm})} \\ &\quad + 286.667,46 \text{ N} \\ Vu1 &= 404.204,34 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Sesuai dengan persyaratan pada *SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2* yaitu nilai akar f_c' yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa.

$$\begin{array}{rcl} \sqrt{f_c'} & < & 8,3 \\ \sqrt{25 \text{ MPa}} & < & 8,3 \\ 5 \text{ MPa} & < & 8,3 \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Kuat geser beton

Sesuai dengan *SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1*:

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}} \times b \times d$$

Dengan nilai $\lambda = 1$, untuk beton normal.

Maka,

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 450 \text{ mm} \times 635,5 \text{ mm}$$

$$V_c = 238.312,5 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s \text{ min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{1}{3} \times 450 \text{ mm} \times 635,5 \text{ mm}$$

$$V_{s \text{ min}} = 95.325 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_{c'}} \times b \times d$$

$$V_{s \text{ max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{25} \times 450 \text{ mm} \times 635,5 \text{ mm}$$

$$V_{s \text{ max}} = 476.625 \text{ N}$$

$$2 V_{s \text{ max}} = 2 \times 476.625 \text{ N}$$

$$2 V_{s \text{ max}} = 953.250 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Wilayah pada daerah geser balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom tengah bentang.
2. Wilayah 2 (daerah lapangan) dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke tengah bentang balok.

Perhitungan penulangan geser balok

WILAYAH 1 & 3 (TUMPUAN)

$$V_{u1} = 404.204,34 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$\begin{aligned} V_u &\leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c \\ 404.204,34 \text{ N} &> 89.367,19 \text{ N} \end{aligned}$$

(TIDAK MEMENUHI)

2. Kondisi 2 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c &\leq V_u \leq \phi \cdot V_c \\ 89.367,19 \text{ N} &\leq 404.204,34 \text{ N} > 178.734,38 \text{ N} \end{aligned}$$

(TIDAK MEMENUHI)

3. Kondisi 3 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\begin{aligned} \phi \cdot V_c &\leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{smin}) \\ 178.734,38 \text{ N} &\leq 404.204,34 \text{ N} > 250.228,13 \text{ N} \end{aligned}$$

(TIDAK MEMENUHI)

4. Kondisi 4 → Memerlukan tulangan geser

$$\begin{aligned} \phi \cdot (V_c + V_{smin}) &\leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{smax}) \\ 250.228,13 \text{ N} &\leq 404.204,34 \text{ N} \leq 536.203,13 \text{ N} \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 4, yaitu memerlukan tulangan geser.

Beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$V_{sperlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$Vs_{perlu} = \frac{404.204,34 \text{ N}}{0,75} - 238.312,5 \text{ N}$$

$$Vs_{perlu} = 300.626,62 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$Av = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$Av = \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (12 \text{ mm})^2 \times 2$$

$$Av = 226,19 \text{ mm}^2$$

Spasi perlu tulangan:

$$s = \frac{Av \times fy \times d}{Vs}$$

$$s = \frac{226,19 \text{ mm}^2 \times 320 \text{ N/mm}^2 \times 635,5 \text{ mm}}{300.626,62 \text{ N}}$$

$$s = 153,01 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{maks} \leq d/4 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = d/4$$

$$= 635,5 \text{ mm}/4$$

$$= 158,875 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Digunakan spasi tulangan 90 mm.

Luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$Av = \frac{Vs_{perlu} \times s}{fy \times d}$$

$$Av = \frac{300.626,62 \text{ N} \times 90 \text{ mm}}{320 \text{ N/mm}^2 \times 635,5 \text{ mm}}$$

$$Av = 133,05 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan geser perlu ditambah dengan luas tulangan puntir dan disalurkan menjadi sengkang tertutup.

Pengaruh momen puntir

$$\frac{At}{s} = 0,413 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned} At &= 0,413 \text{ mm} \times s \\ &= 0,413 \text{ mm} \times 90 \text{ mm} \\ &= 37,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas gabungan :

$$\begin{aligned} Av + 2 At &= 133,05 \text{ mm}^2 + 2(37,2 \text{ mm}^2) \\ &= 207,44 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Periksa syarat luas tulangan minimum sengkang tertutup:

$$\begin{aligned} Av + 2At &= 0,062 \sqrt{fc'} \frac{b \times s}{fy} \\ Av + 2At &= 0,062 \sqrt{25 \text{ MPa}} \frac{450 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}}{320 \text{ MPa}} \\ Av + 2At &= 39,23 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Av + 2At &= 0,35 \frac{b \times s}{fy} \\ Av + 2At &= 0,35 \frac{450 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}}{320 \text{ MPa}} \\ Av + 2At &= 44,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan:

$$Av + 2At = 207,44 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$\begin{array}{rcl} A_{vpakai} & > & A_{vperlu} \\ 226,19 \text{ mm}^2 & > & 207,44 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{array}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih 50 mm dari perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

Cek persyaratan :

- $S_{pakai} < d/4$
 $90 \text{ mm} < 635,5 \text{ mm}/4$
 $90 \text{ mm} < 158,875 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$
- $S_{pakai} < 8 \times D_{lentur}$
 $90 \text{ mm} < 8 \times 25 \text{ mm}$
 $90 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$
- $S_{pakai} < 24 \times D_{geser}$
 $90 \text{ mm} < 24 \times 12 \text{ mm}$
 $90 \text{ mm} < 288 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$
- $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $90 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$
 $90 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$

Maka, digunakan tulangan geser (senggang) Ø12 - 90 mm pada daerah tumpuan kiri dan kanan dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

WILAYAH 2 (LAPANGAN)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{Vu2}{0,5ln - 2h} &= \frac{Vu1}{0,5ln} \\ Vu2 &= \frac{Vu1 \times (0,5ln - 2h)}{0,5ln} \\ &= \frac{404.204,34N \times (0,5 \times (9450mm) - 2 \times 700mm)}{0,5 \times (9450mm)} \\ Vu2 &= 284.440,09 N\end{aligned}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$\begin{aligned}V_u &\leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c \\ 284.440,09 N &> 89.367,19 N\end{aligned}$$

(TIDAK MEMENUHI)

2. Kondisi 2 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c &\leq V_u \leq \phi \cdot V_c \\ 89.367,19 N &\leq 284.440,09 N > 178.734,38 N\end{aligned}$$

(TIDAK MEMENUHI)

3. Kondisi 3 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\begin{aligned}\phi \cdot V_c &\leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{smin}) \\ 178.734,38 N &\leq 284.440,09 N > 250.228,13 N\end{aligned}$$

(TIDAK MEMENUHI)

4. Kondisi 4 → Memerlukan tulangan geser

$$\begin{aligned} \phi \cdot (V_c + V_{Smin}) &\leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{Smax}) \\ 250.228,13 \text{ N} &\leq 284.440,09 \text{ N} \leq 536.203,13 \text{ N} \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 4, yaitu memerlukan tulangan geser.

Beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$\begin{aligned} V_{Sperlu} &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ V_{Sperlu} &= \frac{288.440,09 \text{ N}}{0,75} - 238.312,5 \text{ N} \\ V_{Sperlu} &= 140.940,95 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan:

$$\begin{aligned} S_{maks} &\leq d/2 \leq 600 \text{ mm} \\ S_{maks} &= d/2 \\ &= 635,5 \text{ mm}/2 \\ &= 316,75 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan spasi tulangan 120 mm.

Luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{V_{Sperlu} \times s}{f_y \times d} \\ A_v &= \frac{140.940,95 \text{ N} \times 120 \text{ mm}}{320 \text{ N/mm}^2 \times 635,5 \text{ mm}} \\ A_v &= 83,17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan geser perlu ditambah dengan luas tulangan puntir dan disalurkan menjadi sengkang tertutup.

Pengaruh momen puntir

$$\frac{At}{s} = 0,413 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned} At &= 0,413 \text{ mm} \times s \\ &= 0,413 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} \\ &= 49,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas gabungan :

$$\begin{aligned} Av + 2 At &= 83,17 \text{ mm}^2 + 2(49,6 \text{ mm}^2) \\ &= 182,36 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Periksa syarat luas tulangan minimum sengkang tertutup:

$$\begin{aligned} Av + 2At &= 0,062 \sqrt{fc'} \frac{b \times s}{fy} \\ Av + 2At &= 0,062 \sqrt{25 \text{ MPa}} \frac{450 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}}{320 \text{ MPa}} \\ Av + 2At &= 52,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Av + 2At &= 0,35 \frac{b \times s}{fy} \\ Av + 2At &= 0,35 \frac{450 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}}{320 \text{ MPa}} \\ Av + 2At &= 59,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan:

$$Av + 2At = 182,36 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$A_v = \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (12 \text{ mm})^2 \times 2$$

$$A_v = 226,19 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$A_{v\text{pakai}} > A_{v\text{perlu}}$$

$$226,19 \text{ mm}^2 > 182,36 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok

Pada sepanjang panjang komponen struktur lentur spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/2$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

Cek persyaratan :

- $S_{\text{pakai}} < d/2$
 $120 \text{ mm} < 635,5 \text{ mm}/2$
 $120 \text{ mm} < 316,75 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$
- $S_{\text{pakai}} < 8 \times D_{\text{lentur}}$
 $120 \text{ mm} < 8 \times 25 \text{ mm}$
 $120 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$
- $S_{\text{pakai}} < 24 \times D_{\text{geser}}$
 $120 \text{ mm} < 24 \times 12 \text{ mm}$
 $120 \text{ mm} < 288 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$
- $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $120 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$

$$120 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Maka, digunakan tulangan geser (senggang) Ø12 - 120 mm pada daerah lapangan.

- Perhitungan panjang penyaluran

Panjang penyaluran untuk tulangan lentur D25 dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2, 12.3 dan 12.5.

1) Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik.

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) db \geq 300 \text{ mm}$$

Dimana,

Ψ_t = faktor lokasi tulangan, 1

Ψ_e = faktor pelapis tulangan, 1

λ = beton normal, 1

Maka,

$$l_d = \left(\frac{400 \text{ MPa} \cdot 1.1}{1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{25 \text{ MPa}}} \right) 25 \text{ mm}$$

$$l_d = 1176,47 \text{ mm}$$

Syarat:

$$l_d > 300 \text{ mm}$$

$$1176,47 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{pasang}}}} l_d$$

$$ld_{reduksi} = \frac{3835,90 \text{ mm}^2}{3926,99 \text{ mm}^2} 1176,47 \text{ mm}$$

$$ld_{reduksi} = 1149,18 \text{ mm} \approx 1200 \text{ mm}$$

2) Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan.

$$l_{dc} = \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \cdot 400 \text{ MPa}}{1 \sqrt{25 \text{ MPa}}} \cdot 25 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 480 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043 f_y d_b$$

$$l_{dc} = 0,043 \cdot 400 \text{ MPa} \cdot 25 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 430 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $l_{dc} = 480 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$ldc_{reduksi} = \frac{As_{pertu}}{As_{pasang}} l_{dc}$$

$$ldc_{reduksi} = \frac{929,69 \text{ mm}^2}{981,75 \text{ mm}^2} 480 \text{ mm}$$

$$ldc_{reduksi} = 454,55 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$$

3) Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik.

$$l_{dh} = \frac{0,24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \cdot 400 \text{ MPa}}{1 \sqrt{25 \text{ MPa}}} \cdot 25 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 480 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$$

$$8d_b = 8.(25 \text{ mm})$$

$$= 200 \text{ mm}$$

Syarat:

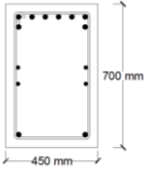
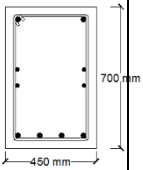
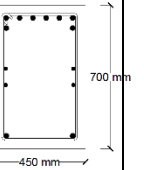
$$l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$500 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

$$l_{dh} > 8d_b \text{ mm}$$

$$500 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

- Kesimpulan penulangan

Type	BI1		
Wilayah	Tumpuan kiri	Lapangan	Tumpuan kanan
Balok Induk melintang lantai 2			
Dimensi	450 x 700	450 x 700	450 x 700
Tul. Atas	8D25	2D25	8D25
Tul. Sisi	4D16	4D16	4D16
Tul. Bawah	3D25	4D25	3D25
Sengkang	Ø12-90	Ø12-120	Ø12-90

4.4.3.4. Sloof

Perhitungan tulangan sloof diambil dari data sloof melintang B1 (450x700) mm as A joint 2-3 pada elevasi $\pm 0,0$ m. Berikut ialah data perencanaan sloof, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yang selanjutnya akan dihitung menggunakan metode SRPMM.

➤ Data-data perencanaan:

Tipe balok	: B1
Bentang balok (L balok)	: 9000 mm
Dimensi balok (b balok)	: 450 mm
Dimensi balok (h balok)	: 700 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 320 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D)	: 25 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset)	: 12 mm
Diameter tulangan puntir (D)	: 16 mm
Spasi antar tulangan sejajar	: 30 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.1)

Tebal selimut beton (desking) : 40 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1(c))

Faktor β_1 : 0,85

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ): 0,8

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.1)

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ): 0,75

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ) : 0,75

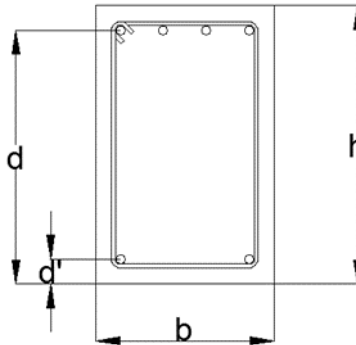
(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

➤ Perhitungan penulangan sloof:

- Tinggi efektif sloof:

$$\begin{aligned}
 d &= h - t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\
 &= 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \times 25 \text{ mm} \right) \\
 &= 635,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= \text{decking} + \phi_{\text{tulangan geser}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan lentur}} \\
 &= 40 \text{ mm} + 12 \text{ mm} + \left(\frac{1}{2} \times 25 \text{ mm} \right) \\
 &= 64,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.52. Tinggi Efektif Sloof

- Hasil Output SAP 2000:

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan sloof.

Untuk hasil analisa perhitungan tulangan sloof, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L merupakan kombinasi kritis di dalam permodelan.

Hasil output torsi

Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$

Momen puntir : 3.167.105,35 Nmm

**Gambar 4.53. Diagram Gaya Torsi Sloof****Hasil output aksial**

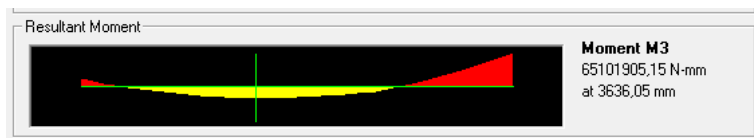
Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$

Momen aksial : 1718,77 N

**Gambar 4.54. Diagram Gaya Aksial Sloof****Hasil output momen lentur**

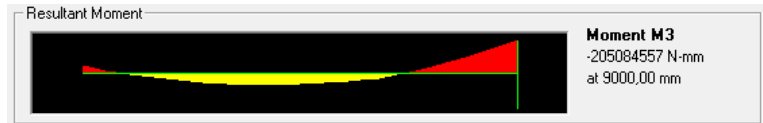
Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$

Momen lentur lapangan : 65.101.905,15 Nmm

**Gambar 4.55. Diagram Gaya Momen Lentur Lapangan Sloof**

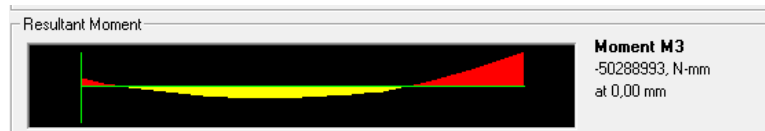
Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$

Momen lentur tumpuan kanan : -205.084.557 Nmm



Gambar 4.56. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kanan Sloof

Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$
 Momen lentur tumpuan kiri : - 50.288.993 Nmm

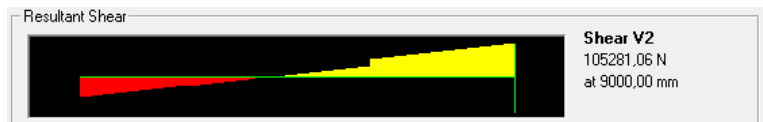


Gambar 4.57. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kiri Sloof

Hasil output diagram gaya geser

Berdasarkan SNI 03-2857-2013 Pasal 21.3.4.2 sengkang pertaman harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Maka, V_u diambil sebesar :

Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$
 Momen lentur tumpuan kiri : 105.281,06 Nmm



Gambar 4.58. Diagram Gaya Geser Sloof

- Syarat gaya aksial pada balok:

Balok harus memenuhi persyaratan batas gaya tekan aksial **SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.2**. Sesuai ketentuan SRPMM bahwa gaya tekan aksial terfaktor, **P_u** , untuk komponen struktur tidak melebihi **$A_g \cdot f_c' / 10$** dengan perhitungan dibawah ini :

$$\frac{A_g \cdot f_c'}{10} = \frac{450 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2}{10}$$

$$= 787.500 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L pada komponen struktur yang ditinjau sebesar 1.718,77 N

Maka, sesuai persamaan :

$$P_u < \frac{A_g \cdot f_c'}{10}$$

$$1.718,88 \text{ N} < 787.500 \text{ N}$$

- Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$A_{cp} = 450 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$$

$$A_{cp} = 315.000 \text{ mm}^2$$

Perimeter luar irisan penampang beton A_{cp} :

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 \times (450 \text{ mm} + 700 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 2.300 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser})$$

$$A_{oh} = (450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm}) \times (700 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 217.664 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm}) + (700 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm})]$$

$$P_{oh} = 1.932 \text{ mm}$$

- Perhitungan tulangan puntir

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L.

Momen puntir ultimate:

$$T_u = 3.167.105,35 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{3.167.105,35 \text{ Nmm}}{0,75} = 4.222.807,13 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini.

$$T_u \text{ min} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_u \text{ min} = 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{315.000^2}{2.300} \right)$$

$$T_u \text{ min} = 13.427.730,98 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$T_u \text{ max} = \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_u \text{ max} = 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{315.000^2}{2.300} \right)$$

$$T_u \text{ max} = 53.387.364,13 \text{ Nmm}$$

Cek pengaruh puntir

$T_u < T_u \text{ min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_u \text{ min}$, maka memerlukan tulangan puntir

$T_u > T_u \text{ min}$

3.167.105,35 Nmm < 13.427.730,98 Nmm (**tulangan puntir diabaikan**)

Digunakan tulangan puntir minimum.

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut.

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times P_o h \times \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \times \cot^2 \phi$$

Dengan A_t/s dihitung sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan berikut :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot \phi}$$

Dengan $A_o = 0,85 A_{oh}$ dan untuk beton non-prategang $\phi = 45^\circ$

Maka :

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 \times 217.664 \text{ mm}^2 \\ &= 185.014 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot \phi}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{4.222.807,13 \text{ Nmm}}{2 \times 185.014 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \cot 45^\circ}$$

$$\frac{At}{s} = 0,046 \text{ mm}$$

$$Al \text{ min} = \left(\frac{0,42 \times \sqrt{f'c'} \times A_{cp}}{f_y} \right) - \frac{At}{s} \times P_{oh} \times \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$\begin{aligned} Al \text{ min} &= \left(\frac{0,42 \times \sqrt{25} \times 315.000 \text{ mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \right) \times \\ &- 0,046 \text{ mm} \times 1.932 \text{ mm} \times \frac{400 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \end{aligned}$$

$$Al \text{ min} = 1.551,34 \text{ mm}^2$$

Dipakai luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata pada empat sisi penampang balok sehingga diperoleh kebutuhan luasan tulangan tiap sisinya, yaitu:

$$\frac{Al}{4} = \frac{1.551,34 \text{ mm}^2}{4} = 387,84 \text{ mm}^2$$

Penyebaran penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi setiap sisinya :

- Sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok
- Sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $387,84 \text{ mm}^2$.

Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar:

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{1.551,34 \text{ mm}^2}{4} = 775,67 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D 16 mm pada tulangan puntir pada 2 sisi yaitu sisi kiri dan sisi kanan sejumlah :

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{775,67 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 3,86 \cong 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir **4D16**.

$$\begin{aligned} A_{\text{spasang}} &= n \times A_{\text{tul.puntir}} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2 \\ &= 804,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{\text{spasang}} &\geq A_{\text{perlu}} \\ 804,24 \text{ mm}^2 &\geq 775,67 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir ditumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan sebesar **4D16**.

- Perhitungan tulangan lentur

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$Xb = \frac{600}{600 + 400} \times 635,5 \text{ mm}$$

$$Xb = 381,3 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times X_b$$

$$X_{max} = 0,75 \times 381,3 \text{ mm}$$

$$X_{max} = 285,98 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{min} = d'$$

$$X_{min} = 64,5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana}$$

$$Cc' = 0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm} \times 0,85 \times 150 \text{ mm}$$

$$Cc' = 1.219.218,75 \text{ N}$$

Luasan tulangan

$$Asc = \frac{Cc'}{f_y} = \frac{1.219.218,75 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2}$$

$$Asc = 3.048,05 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 3.048,05 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(635,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 150 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 697.088.320,31 \text{ Nmm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\
&= 0,0035 \\
\rho_{\max} &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
&= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0,85}{400 \text{ MPa}} \right) \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\
&= 0,0203 \\
m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\
&= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \cdot 25 \text{ MPa}} \\
&= 18,824
\end{aligned}$$

DAERAH TUMPUAN KANAN

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan sloof melintang menggunakan momen terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 205.084.557 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$\begin{aligned}
M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
M_n &= \frac{205.084.557 \text{ Nmm}}{0,8} = 256.355.696,25 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 256.355.696,25 \text{ Nmm} - 697.088.320,31 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -440.732.624,06 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{256.355.696,25 \text{ Nmm}}{450 \text{ mm} \cdot (635,5 \text{ mm})^2} = 1,411 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 1,411 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) = 0,00365$$

Syarat:

$$\begin{array}{ccccc} \rho_{\min} & < & \rho & < & \rho_{\min} \\ 0,0035 & < & 0,00365 & < & 0,0203 \text{ (Memenuhi)} \end{array}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d = 0,00365 \times 450 \text{ mm} \times 635,5 \text{ mm} \\ &= 1.044,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D 25 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{1.044,17 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (25 \text{ mm})^2}$$

$$n = 2,13 \cong 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **3D25**.

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pasang}}} &= n \times A_{S_{\text{tul.tarik}}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\ &= 1.472,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pasang}}} &\geq A_{S_{\text{perlu}}} \\ 1.472,62 \text{ mm}^2 &\geq 1.044,38 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{S'_{\text{perlu}}} &= 0,3 \times A_{S_{\text{pasang}}} \\ &= 0,3 \times 1.472,62 \text{ mm}^2 \\ &= 441,79 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{S'_{\text{perlu}}}}{Luasan \text{ tulangan}}$$

$$n = \frac{441,79 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (25 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,9 \cong 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D25**.

$$\begin{aligned} A_{S'_{\text{pasang}}} &= n \times A_{S_{\text{tul.tekan}}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{S'_{\text{pasang}}} &\geq A_{S'_{\text{perlu}}} \\ 981,75 \text{ mm}^2 &\geq 441,79 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} &= 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} &= 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (3x25 \text{ mm})}{3 - 1} \\
 &= 135,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\geq S_{sejajar} \\
 135,5 \text{ mm} &< 30 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)**Kontrol tulangan tekan:**

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (2x25 \text{ mm})}{2 - 1} \\
 &= 296 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\geq S_{sejajar} \\
 296 \text{ mm} &> 30 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Maka dipakai tulangan lentur sloof melintang 45/70 untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan

momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentuk tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentuk tumpuan}(-)$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **3D25**.

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &= n \times A_{Stul.tarik} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\ &= 1472,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D25**.

$$\begin{aligned} A_{S' pasang} &= n \times A_{Stul.tekan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentuk tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentuk tumpuan}(-)$$

$$\begin{aligned} 981,75 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 1.472,62 \text{ mm}^2 \\ 981,75 \text{ mm}^2 &> 490,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah tumpuan kanan, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{Spasang}$ tulangan tarik **3D25** = 1472,62 mm²

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{1472,62 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

$$a = 61,60 \text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 61,60 \text{ mm}$$

$$Cc' = 589.048,62 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai } \times f_y$$

$$T = 1472,62 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 589.048,62 \text{ N}$$

$$Mn = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$Mn = \left(589.048,62 \text{ N} \times \left(635,5 \text{ mm} - \frac{61,6 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$Mn = 356.197.744,48 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta. Mn \text{ pasang} > Mu$$

$$0,8 \times 356.197.744,48 \text{ Nmm} > 205.084.557 \text{ Nmm}$$

$$284.958.195,58 \text{ Nmm} > 205.084.557 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

Jadi, penulangan lentur untuk sloof melintang 45/70 dengan bentang 9 m untuk daerah tumpuan kanan adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

DAERAH TUMPUAN KIRI

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri sloof melintang menggunakan momen terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 50.228.993 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{50.228.993 \text{ Nmm}}{0,8} = 62.816.241,25 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 62.816.241,25 \text{ Nmm} - 697.088.320,31 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -634.227.320,06 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{62.816.241,25 \text{ N.mm}}{450 \text{ mm} \cdot (635,5 \text{ mm})^2}$$

$$= 0,346 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,346 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$= 0,000872$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,000872 < 0,0203 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,000873 \times 1,3 = 0,001133$

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 450 \text{ mm} \times 635,5 \text{ mm}$$

$$= 1.000,91 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **D 25 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan tulangan}$$

$$n = \frac{1.000,91 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (25 \text{ mm})^2}$$

$$n = 2,04 \cong 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **3D25**.

$$As_{\text{pasang}} = n \times As_{\text{tul. tarik}}$$

$$= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2$$

$$= 1.472,62 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$As_{\text{pasang}} \geq As_{\text{perlu}}$$

$$1.472,62 \text{ mm}^2 \geq 1.000,91 \text{ mm}^2 \text{ (MEMENUHI)}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$As'_{\text{perlu}} = 0,3 \times As_{\text{pasang}}$$

$$= 0,3 \times 1.472,62 \text{ mm}^2$$

$$= 441,79 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As'_{perlu}}{Luasan\ tulangan}$$

$$n = \frac{441,79\ mm^2}{0,25\ \pi\ (25\ mm)^2}$$

$$n = 0,9 \cong 2\ buah$$

Dipasang tulangan tekan **2D25**.

$$\begin{aligned} As'_{pasang} &= n \times As_{tul.tekan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25\ mm)^2 \\ &= 981,75\ mm^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} As'_{pasang} &\geq As'_{perlu} \\ 981,75\ mm^2 &\geq 441,79\ mm^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} = 30\ mm && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{maks} &\leq S_{sejajar} = 30\ mm && \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\ &= \frac{450\ mm - (2x40\ mm) - (2x12\ mm) - (3x25\ mm)}{3 - 1} \\ &= 135,5\ mm \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} \\ 135,5\ mm &< 30\ mm \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (2x25 \text{ mm})}{2 - 1} \\
 &= 296 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl}
 S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\
 296 \text{ mm} & > & 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{array}$$

Maka dipakai tulangan lentur sloof melintang 45/70 untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur \text{ tumpuan}(+) } \geq \frac{1}{3} M_{lentur \text{ tumpuan}(-)}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **3D25**.

$$\begin{aligned}
 A_{Spasang} &= n \times A_{Stul.tarik} \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\
 &= 1472,62 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D25**.

$$\begin{aligned} A_s'_{\text{pasang}} &= n \times A_{s_{\text{tul.tekan}}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur tumpuan}}(+) &\geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan}}(-) \\ 981,75 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 1.472,62 \text{ mm}^2 \\ 981,75 \text{ mm}^2 &> 490,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{s_{\text{pasang}}}$ tulangan tarik **3D25** = 1472,62 mm²

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b} \\ a &= \frac{1472,62 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}} \\ a &= 61,60 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$C c' = 0,85 \times b \times f c' \times a$$

$$C c' = 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 61,60 \text{ mm}$$

$$C c' = 589.048,62 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai} \times f_y$$

$$T = 1472,62 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 589.048,62 \text{ N}$$

$$Mn = \left(Cc'x \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$Mn = \left(589.048,62 \text{ N} \times \left(635,5 \text{ mm} - \frac{61,6 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$Mn = 356.197.744,48 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta. Mn \text{ pasang} > Mu$$

$$0,8 \times 356.197.744,48 \text{ Nmm} > 50.330.263 \text{ Nmm}$$

$$284.958.195,58 \text{ Nmm} > 50.330.263 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

Jadi, penulangan lentur untuk sloof melintang 45/70 dengan bentang 9 m untuk daerah tumpuan kiri adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

DAERAH LAPANGAN

Perhitungan tulangan lentur lapangan sloof melintang menggunakan momen terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L.

Momen lentur ultimate:

$$Mu = 65.101.905,15 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn = \frac{65.101.905,15 \text{ Nmm}}{0,8} = 81.377.381,44 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

Mns > 0, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 81.377.381,44 \text{ Nmm} - 697.088.320,31 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -615.710.938,88 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{81.523.703,75 \text{ N.mm}}{450 \text{ mm} \cdot (635,5 \text{ mm})^2} = 0,448 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,448 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) = 0,001131$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,001131 < 0,0203 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,001131 \times 1,3 = 0,001471$

$$\begin{aligned} \text{As} &= \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 450 \text{ mm} \times 635,5 \text{ mm} \\ &= 1.000,91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D 25 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{Luasan\ tulangan}$$

$$n = \frac{1.000,91\text{ mm}^2}{0,25 \pi (25\text{ mm})^2}$$

$$n = 2,04 \cong 3\text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **3D25**.

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \times As_{\text{tul.tarik}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25\text{ mm})^2 \\ &= 1.472,62\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &\geq As_{\text{perlu}} \\ 1.472,62\text{ mm}^2 &\geq 1.000,91\text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} As'_{\text{perlu}} &= 0,3 \times As_{\text{pasang}} \\ &= 0,3 \times 1.472,62\text{ mm}^2 \\ &= 441,79\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{As'_{\text{perlu}}}{Luasan\ tulangan}$$

$$n = \frac{441,79\text{ mm}^2}{0,25 \pi (25\text{ mm})^2}$$

$$n = 0,9 \cong 2\text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D25**.

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \times As_{\text{tul.tekan}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25\text{ mm})^2 \\ &= 981,75\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &\geq As'_{\text{perlu}} \\ 981,75\text{ mm}^2 &\geq 441,79\text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{maks} &\leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (3x25 \text{ mm})}{3 - 1} \\ &= 135,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} \\ 135,5 \text{ mm} &< 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (2x25 \text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 296 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} \\ 296 \text{ mm} &> 30 \text{ mm} \end{aligned} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Maka dipakai tulangan lentur sloof melintang 45/70 untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **3D25**.

$$\begin{aligned} A_{spasang} &= n \times A_{Stul.tarik} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25\text{ mm})^2 \\ &= 1472,62\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D25**.

$$\begin{aligned} A_{s' pasang} &= n \times A_{Stul.tekan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25\text{ mm})^2 \\ &= 981,75\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lentur\ tumpuan}(+) &\geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-) \\ 981,75\text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 1.472,62\text{ mm}^2 \\ 981,75\text{ mm}^2 &> 490,87\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{s\text{pasang}}$ tulangan tarik **3D25** = $1472,62 \text{ mm}^2$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{1472,62 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

$$a = 61,60 \text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 61,60 \text{ mm}$$

$$Cc' = 589.048,62 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai } \times f_y$$

$$T = 1472,62 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 589.048,62 \text{ N}$$

$$Mn = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$Mn = \left(589.048,62 \text{ N} \times \left(635,5 \text{ mm} - \frac{61,6 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$Mn = 356.197.744,48 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta \cdot Mn \text{ pasang} > Mu$$

$$0,8 \times 356.197.744,48 \text{ Nmm} > 62.218.963 \text{ Nmm}$$

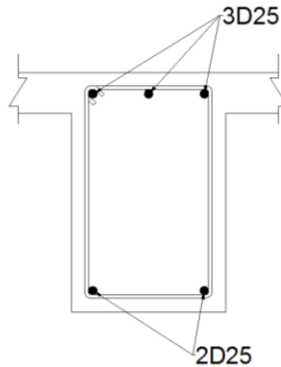
$$284.958.195,58 \text{ Nmm} > 62.218.963 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

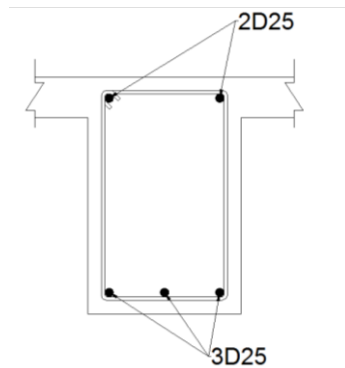
Jadi, penulangan lentur untuk sloof melintang 45/70 dengan bentang 9 m untuk daerah lapangan adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**



Gambar 4.59. Detail Tulangan Lentur Tumpuan Sloof Melintang



Gambar 4.60. Detail Tulangan Lentur Lapangan Sloof Melintang

- Perhitungan tulangan geser

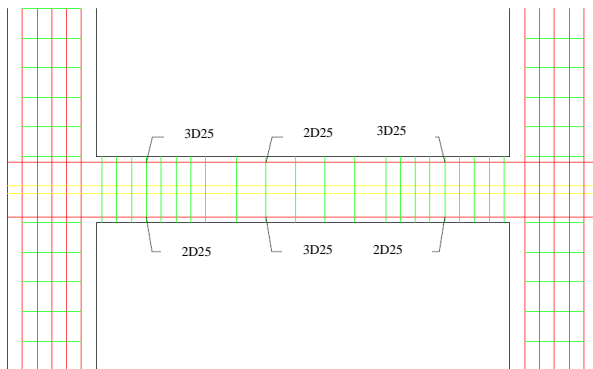
Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur sloof didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada

tumpuan kanan dan tumpuan kiri sloof. Luasan tulangan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan momen nominal kanan.

Berdasarkan hasil SAP 2000, gaya terfaktor geser terbesar diperoleh dari kombinasi $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$ yaitu $V_u = 105.281,06 \text{ N}$.

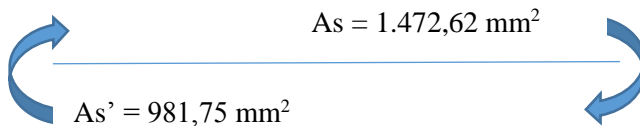
Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.



**Gambar 4.61. Potongan Penampang Sloof
Melintang Elevasi $\pm 0,0 \text{ M}$**

- 1) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan.



Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{As' \cdot fy}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{981,75 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

$$a = 41,07 \text{ mm}$$

$$M_{nl} = As' \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 981,75 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(635,5 \text{ mm} - \frac{41,07 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 241.496.864,13 \text{ Nmm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{1.472,62 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

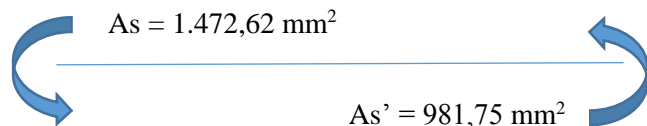
$$a = 61,6 \text{ mm}$$

$$M_{nr} = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 1.472,62 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(635,5 \text{ mm} - \frac{61,6 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 356.197.744,48 \text{ Nmm}$$

2) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri.



Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{As \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{1.472,62 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

$$a = 61,6 \text{ mm}$$

$$M_{nl} = As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 1.472,62 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(635,5 \text{ mm} - \frac{61,6 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 356.197.744,48 \text{ Nmm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{As' \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{981,75 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

$$a = 41,07 \text{ mm}$$

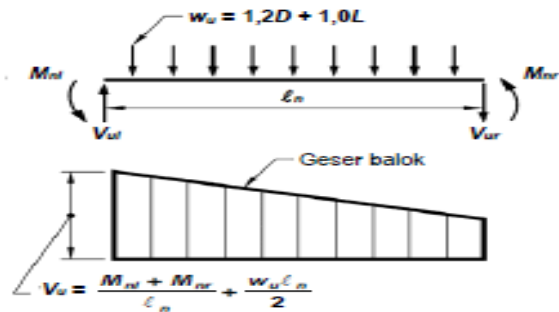
$$M_{nr} = As' \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 981,75 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(635,5 \text{ mm} - \frac{41,07 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 241.496.864,13 \text{ Nmm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4.

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



Gambar 4.62. Geser Desain Untuk SRPMM

$$V_{u1} = \frac{M_{n1} + M_{n2}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{n1} + M_{n2}}{l_n} + V_u$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.3.1(a))

Keterangan :

V_{u1} : Gaya geser pada muka perletakan

M_{n1} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{n2} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

l_n : Panjang bersih balok

Karena hasil M_n untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyak ke kiri maka $V_{u_{kanan}} = V_{u_{kiri}}$.

$$\begin{aligned} l_n &= L_{\text{balok}} - 2\left(\frac{1}{2} \cdot b_{\text{kolom}}\right) \\ &= 9000 \text{ mm} - 2\left(\frac{1}{2} \cdot 650 \text{ mm}\right) \\ &= 9450 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan :

$$\begin{aligned}
 V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u \\
 V_{u1} &= \frac{241.496.864,13 \text{ Nmm} + 356.197.744,48 \text{ Nmm}}{(9450 \text{ mm})} \\
 &\quad + 105.281,06 \text{ N} \\
 V_{u1} &= 176.861,25 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Sesuai dengan persyaratan pada *SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2* yaitu nilai akar f_c' yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa.

$$\begin{array}{rcl}
 \sqrt{f_c'} & < & 8,3 \\
 \sqrt{25 \text{ MPa}} & < & 8,3 \\
 5 \text{ MPa} & < & 8,3 \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{array}$$

Kuat geser beton

Sesuai dengan *SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1*:

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

Dengan nilai $\lambda = 1$, untuk beton normal.

Maka,

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 450 \text{ mm} \times 635,5 \text{ mm} \\
 V_c &= 238.312,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser

$$\begin{aligned}
 V_{s \text{ min}} &= \frac{1}{3} \times b \times d \\
 V_{s \text{ min}} &= \frac{1}{3} \times 450 \text{ mm} \times 635,5 \text{ mm} \\
 V_{s \text{ min}} &= 95.325 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_{s \max} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$V_{s \max} = \frac{1}{3} \times \sqrt{25} \times 450 \text{ mm} \times 635,5 \text{ mm}$$

$$V_{s \max} = 476.625 \text{ N}$$

$$2 V_{s \max} = 2 \times 476.625 \text{ N}$$

$$2 V_{s \max} = 953.250 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Wilayah pada daerah geser balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom tengah bentang.
2. Wilayah 2 (daerah lapangan) dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke tengah bentang balok.

Perhitungan penulangan geser balok

WILAYAH 1 & 3 (TUMPUAN)

$$V_{u1} = 176.861,25 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c$$

$$176.861,25 \text{ N} > 89.367,19 \text{ N}$$

(TIDAK MEMENUHI)

2. Kondisi 2 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot V_c$$

$$89.367,19 \text{ N} \leq 176.861,25 \text{ N} < 178.734,38 \text{ N}$$

(MEMENUHI)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser sloof menggunakan persyaratan kondisi 2, yaitu memerlukan tulangan geser minimum.

Syarat spasi tulangan:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\leq d/4 \leq 600 \text{ mm} \\ S_{\text{maks}} &= d/4 \\ &= 635,5 \text{ mm}/4 \\ &= 158,875 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan spasi tulangan 120 mm.

Kontrol:

$$\begin{aligned} S &< S_{\text{maks}} \\ 120 \text{ mm} &< 158,875 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas tulangan geser minimum:

$$\begin{aligned} Av_{\text{min}} &= \frac{bw \cdot s}{3fy} \\ Av_{\text{min}} &= \frac{450 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm}}{3 \cdot 320 \text{ N/mm}^2} \\ Av_{\text{min}} &= 56,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$\begin{aligned} Av &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\ Av &= \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (12 \text{ mm})^2 \times 2 \\ Av &= 226,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{array}{rcl} A_v & > & A_{v_{\min}} \\ 226,19 \text{ mm}^2 & > & 56,25 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{array}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih 50 mm dari perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

Cek persyaratan :

- $S_{\text{pakai}} < d/4$
 $120 \text{ mm} < 635,5 \text{ mm}/4$
 $120 \text{ mm} < 158,875 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$
- $S_{\text{pakai}} < 8 \times D_{\text{lentur}}$
 $120 \text{ mm} < 8 \times 25 \text{ mm}$
 $120 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$
- $S_{\text{pakai}} < 24 \times D_{\text{geser}}$
 $120 \text{ mm} < 24 \times 12 \text{ mm}$
 $120 \text{ mm} < 288 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$
- $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $120 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$
 $120 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$

Maka, digunakan tulangan geser (senggang) Ø12-120mm pada daerah tumpuan kiri dan kanan dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

WILAYAH 2 (LAPANGAN)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{Vu2}{0,5ln - 2h} = \frac{Vu1}{0,5ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \times (0,5ln - 2h)}{0,5ln}$$

$$Vu2 = \frac{176.861,25N \times (0,5 \times (9450mm) - 2 \times 700mm)}{0,5 \times (9450mm)}$$

$$Vu2 = 117.554,49 N$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$Vu \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot Vc$$

$$117.554,49 N > 89.367,19 N$$

(TIDAK MEMENUHI)

2. Kondisi 2 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot Vc \leq Vu \leq \phi \cdot Vc$$

$$89.367,19 N \leq 117.554,49 N < 178.734,38 N$$

(MEMENUHI)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser sloof menggunakan pesyaratan kondisi 2, yaitu memerlukan tulangan geser minimum.

Syarat spasi tulangan:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\leq d/2 \leq 600 \text{ mm} \\
 S_{\text{maks}} &= d/2 \\
 &= 635,5 \text{ mm}/2 \\
 &= 316,75 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan spasi tulangan 150 mm.

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 S &< S_{\text{maks}} \\
 150 \text{ mm} &< 316,75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan geser minimum:

$$\begin{aligned}
 A_{v_{\min}} &= \frac{b_w \cdot s}{3f_y} \\
 A_{v_{\min}} &= \frac{450 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}}{3 \cdot 320 \text{ N/mm}^2} \\
 A_{v_{\min}} &= 70,31 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\
 A_v &= \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (12 \text{ mm})^2 \times 2 \\
 A_v &= 226,19 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 A_v &> A_{v_{\min}} \\
 226,19 \text{ mm}^2 &> 70,31 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok

Pada sepanjang panjang komponen struktur lentur spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

Cek persyaratan :

- $S_{pakai} < d/2$
 $150 \text{ mm} < 635,5 \text{ mm}/2$
 $150 \text{ mm} < 316,75 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**
- $S_{pakai} < 8 \times D_{lentur}$
 $150 \text{ mm} < 8 \times 25 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**
- $S_{pakai} < 24 \times D_{geser}$
 $150 \text{ mm} < 24 \times 12 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 288 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**
- $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**

Maka, digunakan tulangan geser (sengkang) Ø12-150mm pada daerah lapangan.

- Perhitungan panjang penyaluran

Panjang penyaluran untuk tulangan lentur D25 dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2, 12.3 dan 12.5.

- Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik.

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'c}} \right) db \geq 300 \text{ mm}$$

Dimana,

Ψ_t	= faktor lokasi tulangan,	1
Ψ_e	= faktor pelapis tulangan,	1
λ	= beton normal,	1

Maka,

$$l_d = \left(\frac{400 \text{ MPa} \cdot 1.1}{1.7 \cdot 1 \cdot \sqrt{25 \text{ MPa}}} \right) 25 \text{ mm}$$

$$l_d = 1176,47 \text{ mm}$$

Syarat:

$$l_d > 300 \text{ mm}$$

$$1176,47 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$ld_{reduksi} = \frac{As_{perlu}}{As_{pasang}} l_d$$

$$ld_{reduksi} = \frac{1044,17 \text{ mm}^2}{1472,62 \text{ mm}^2} 1176,47 \text{ mm}$$

$$ld_{reduksi} = 834,18 \text{ mm} \approx 850 \text{ mm}$$

2) Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan.

$$l_{dc} = \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \cdot 400 \text{ MPa}}{1 \cdot \sqrt{25 \text{ MPa}}} \cdot 25 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 480 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043 f_y d_b$$

$$l_{dc} = 0,043 \cdot 400 \text{ MPa} \cdot 25 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 430 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $l_{dc} = 480 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{dc\text{reduksi}} = \frac{A_{spertu}}{A_{spasang}} l_{dc}$$

$$l_{dc\text{reduksi}} = \frac{441,79 \text{ mm}^2}{981,75 \text{ mm}^2} 480 \text{ mm}$$

$$l_{dc\text{reduksi}} = 216 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

- 3) Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik.

$$l_{dh} = \frac{0,24 \Psi_{efy}}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \cdot 400 \text{ MPa}}{1 \sqrt{25 \text{ MPa}}} \cdot 25 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 480 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$$

$$8d_b = 8 \cdot (25 \text{ mm})$$

$$= 200 \text{ mm}$$

Syarat:

$$l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$500 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$$

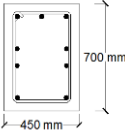
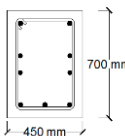
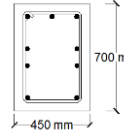
(MEMENUHI)

$$l_{dh} > 8d_b \text{ mm}$$

$$500 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

(MEMENUHI)

- Kesimpulan penulangan

Tipe	B1		
Wilayah	Tumpuan kiri	Lapangan	Tumpuan kanan
Sloof melintang			
Dimensi	450 x 700	450 x 700	450 x 700
Tul. Atas	3D25	2D25	3D25
Tul. Sisi	4D16	4D16	4D16
Tul. Bawah	2D25	3D25	2D25
Senggang	Ø12-120	Ø12-150	Ø12-120

4.4.3.5. Balok Lift

Perhitungan tulangan balok lift diambil dari data balok lift BL1 (450x700) mm. Berikut ialah data perencanaan sloof, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yang selanjutnya akan dihitung menggunakan metode SRPMM.

➤ Data-data perencanaan:

Tipe balok	: BL1
Bentang balok (L balok)	: 2775 mm
Dimensi balok (b balok)	: 450 mm
Dimensi balok (h balok)	: 700 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 320 MPa

Kuat leleh tulangan puntir (f_y) : 400 MPa

Diameter tulangan lentur (D) : 19 mm

Diameter tulangan geser (ϕ) : 12 mm

Diameter tulangan puntir (D) : 16 mm

Spasi antar tulangan sejajar : 30 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.1)

Tebal selimut beton (desking) : 40 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1(c))

Faktor β_1 : 0,85

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ): 0,8

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.1)

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ): 0,75

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ) : 0,75

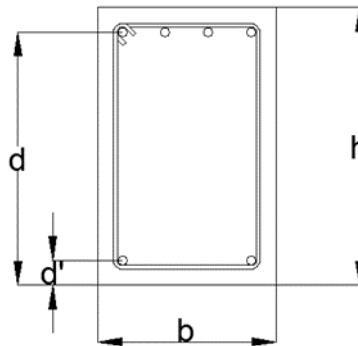
(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

➤ Perhitungan penulangan balok:

- Tinggi efektif balok:

$$\begin{aligned} d &= h - t_{\text{decking}} - \phi_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm} \right) \\ &= 638,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \phi_{\text{tulangan geser}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 40 \text{ mm} + 12 \text{ mm} + \left(\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm} \right) \\ &= 61,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.63. Tinggi Efektif Balok Lift

- Hasil Output SAP 2000:

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan sloof.

Untuk hasil analisa perhitungan tulangan sloof, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$ merupakan kombinasi kritis di dalam permodelan.

Hasil output torsi

Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$

Momen puntir : 8.274.309,99 Nmm



Gambar 4.64. Diagram Gaya Torsi Balok Lift

Hasil output aksial

Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$

Momen aksial : 3475,4 N



Gambar 4.65. Diagram Gaya Aksial Balok Lift

Hasil output momen lentur

Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$

Momen lentur lapangan : 23.932.439,88 Nmm



Gambar 4.66. Diagram Gaya Momen Lentur Lapangan Balok Lift

Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$

Momen lentur tumpuan kanan : -1.041.360,27 Nmm



Gambar 4.67. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Lift

Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$
 Momen lentur tumpuan kiri : 18.081.254,18 Nmm



Gambar 4.68. Diagram Gaya Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Lift

Hasil output diagram gaya geser

Berdasarkan SNI 03-2857-2013 Pasal 21.3.4.2 sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Maka, V_u diambil sebesar :

Kombinasi : $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$
 Momen lentur tumpuan kiri : 24.149,89 Nmm



Gambar 4.69. Diagram Gaya Geser Balok Lift

- Syarat gaya aksial pada balok:

Balok harus memenuhi persyaratan batas gaya tekan aksial *SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.2*. Sesuai ketentuan SRPMM bahwa gaya tekan aksial terfkaktor,

P_u , untuk komponen struktur tidak melebihi **$A_g \cdot f_c' / 10$** dengan perhitungan dibawah ini :

$$\frac{A_g \cdot f_c'}{10} = \frac{450 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2}{10}$$

$$= 787.500 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L pada komponen struktur yang ditinjau sebesar 3475,4 N

Maka, sesuai persamaan :

$$P_u < \frac{A_g \cdot f_c'}{10}$$

$$3475,4 \text{ N} < 787.500 \text{ N}$$

- Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$A_{cp} = 450 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$$

$$A_{cp} = 315.000 \text{ mm}^2$$

Perimeter luar irisan penampang beton A_{cp} :

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 \times (450 \text{ mm} + 700 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 2.300 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser})$$

$$A_{oh} = (450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm}) \times (700 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 217.664 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm}) + (700 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm})]$$

$$P_{oh} = 1.932 \text{ mm}$$

- Perhitungan tulangan puntir

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L.

Momen puntir ultimate:

$$T_u = 8.274.309,99 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{8.274.309,99 \text{ Nmm}}{0,75} = 11.032.413,32 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini.

$$T_u \text{ min} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

$$Tu_{min} = 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{315.000^2}{2.300} \right)$$

$$Tu_{min} = 13.427.730,98 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar :

$$Tu_{max} = \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$Tu_{max} = 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{315.000^2}{2.300} \right)$$

$$Tu_{max} = 53.387.364,13 \text{ Nmm}$$

Cek pengaruh puntir

$Tu < Tu_{min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$Tu > Tu_{min}$, maka memerlukan tulangan puntir

$Tu > Tu_{min}$

8.274.309,99 Nmm < 13.427.730,98 Nmm (**tulangan puntir diabaikan**)

Digunakan tulangan puntir minimum.

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut.

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times P_{oh} \times \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \times \cot^2 \phi$$

Dengan A_t/s dihitung sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan berikut :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot \phi}$$

Dengan $A_o = 0,85A_{oh}$ dan untuk beton non-prategang $\phi = 45^\circ$

Maka :

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 \times 217.664 \text{ mm}^2 \\ &= 185.014 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot \phi}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{11.032.413,32 \text{ Nmm}}{2 \times 185.014 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \cot 45^\circ}$$

$$\frac{At}{s} = 0,121 \text{ mm}$$

$$Al \text{ min} = \left(\frac{0,42 \times \sqrt{f'c'} \times A_{cp}}{f_y} \right) - \frac{At}{s} \times P_{oh} \times \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$Al \text{ min} = \left(\frac{0,42 \times \sqrt{25} \times 315.000 \text{ mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \right) \times$$

$$- 0,121 \text{ mm} \times 1.932 \text{ mm} \times \frac{400 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}$$

$$Al \text{ min} = 1.407,37 \text{ mm}^2$$

Dipakai luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata pada empat sisi penampang balok sehingga diperoleh kebutuhan luasan tulangan tiap sisinya, yaitu:

$$\frac{Al}{4} = \frac{1.407,37 \text{ mm}^2}{4} = 351,84 \text{ mm}^2$$

Penyebaran penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi setiap sisinya :

- Sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok
- Sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $351,84 \text{ mm}^2$.

Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar:

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{1.407,37 \text{ mm}^2}{4} = 703,68 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D 16 mm pada tulangan puntir pada 2 sisi yaitu sisi kiri dan sisi kanan sejumlah :

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{703,68 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 3,5 \cong 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir **4D16**.

$$\begin{aligned} A_{\text{spasang}} &= n \times A_{\text{tul.puntir}} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2 \\ &= 804,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{\text{spasang}} &\geq A_{\text{perlu}} \\ 804,24 \text{ mm}^2 &\geq 703,68 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir ditumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan sebesar **4D16**.

- Perhitungan tulangan lentur

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$Xb = \frac{600}{600 + 400} \times 638,5 \text{ mm}$$

$$Xb = 383,1 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times X_b$$

$$X_{max} = 0,75 \times 383,1 \text{ mm}$$

$$X_{max} = 287,33 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{min} = d'$$

$$X_{min} = 61,5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana}$$

$$Cc' = 0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm} \times 0,85 \times 150 \text{ mm}$$

$$Cc' = 1.219.218,75 \text{ N}$$

Luasan tulangan

$$A_{sc} = \frac{Cc'}{f_y} = \frac{1.219.218,75 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2}$$

$$A_{sc} = 3.048,05 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 3.048,05 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(638,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 150 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 700.745.976,56 \text{ Nmm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\
&= 0,0035 \\
\rho_{\max} &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
&= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0,85}{400 \text{ MPa}} \right) \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\
&= 0,0203 \\
m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\
&= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \cdot 25 \text{ MPa}} \\
&= 18,824
\end{aligned}$$

DAERAH TUMPUAN KANAN

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan balok lift menggunakan momen terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 1.041.360,27 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$\begin{aligned}
M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
M_n &= \frac{1.041.360,27 \text{ Nmm}}{0,8} = 1.301.700,34 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 1.301.700,34 \text{ Nmm} - 700.745.976,56 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -699.444.276,23 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} &= \frac{1.301.700,34 \text{ N.mm}}{450 \text{ mm} \cdot (638,5 \text{ mm})^2} \\ &= 0,007 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ \rho &= \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,007 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) \\ &= 0,000018 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{ccccc} \rho_{\min} & < & \rho & < & \rho_{\min} \\ 0,0035 & > & 0,000018 & < & 0,0203 \text{ (Tidak Memenuhi)} \end{array}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,000018 \times 1,3 = 0,000023$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 450 \text{ mm} \times 635,5 \text{ mm} \\ &= 1.005,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D 19 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{1.005,64 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 3,55 \cong 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **4D19**.

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pasang}}} &= n \times A_{S_{\text{tul.tarik}}} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1.134,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pasang}}} &\geq A_{S_{\text{perlu}}} \\ 1.134,11 \text{ mm}^2 &\geq 1.005,64 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{S'_{\text{perlu}}} &= 0,3 \times A_{S_{\text{pasang}}} \\ &= 0,3 \times 1.134,11 \text{ mm}^2 \\ &= 340,23 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{S'_{\text{perlu}}}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{340,23 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,2 \cong 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D19**.

$$\begin{aligned} A_{S'_{\text{pasang}}} &= n \times A_{S_{\text{tul.tekan}}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{S'_{\text{pasang}}} &\geq A_{S'_{\text{perlu}}} \\ 567,06 \text{ mm}^2 &\geq 340,23 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} &= 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} &= 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (4x19 \text{ mm})}{4 - 1} \\
 &= 90 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{lcl}
 S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\
 90 \text{ mm} & < & 30 \text{ mm}
 \end{array}$$

(MEMENUHI)**Kontrol tulangan tekan:**

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (2x19 \text{ mm})}{2 - 1} \\
 &= 308 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{lcl}
 S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\
 308 \text{ mm} & > & 30 \text{ mm}
 \end{array}$$

(MEMENUHI)

Maka dipakai tulangan lentur balok lift 45/70 untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang

panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **4D19**.

$$\begin{aligned} A_{spasang} &= n \times A_{Stul.tarik} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19\text{ mm})^2 \\ &= 1.134,11\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D19**.

$$\begin{aligned} A_{s' pasang} &= n \times A_{Stul.tekan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19\text{ mm})^2 \\ &= 567,06\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lentur\ tumpuan}(+) &\geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-) \\ 567,06\text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 1.134,11\text{ mm}^2 \\ 567,06\text{ mm}^2 &> 378,04\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah tumpuan kanan, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{spasang}$ tulangan tarik **4D19** = 1.134,11 mm²

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b} \\ a &= \frac{1.134,11\text{ mm}^2 \times 400\text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25\text{ N/mm}^2 \times 450\text{ mm}} \\ a &= 47,44\text{ mm} \end{aligned}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f'c' \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 47,44 \text{ mm}$$

$$Cc' = 453.645,98 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai } x f_y$$

$$T = 1.134,11 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 453.645,98 \text{ N}$$

$$Mn = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$Mn = \left(453.645,98 \text{ N} \times \left(638,5 \text{ mm} - \frac{47,77 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$Mn = 278.892.451,85 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta. Mn \text{ pasang} > Mu$$

$$0,8 \times 278.892.451,85 \text{ Nmm} > 1.041.360,27 \text{ Nmm}$$

$$223.113.961,48 \text{ Nmm} > 1.041.360,27 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

Jadi, penulangan lentur untuk balok lift 45/70 dengan bentang 2,775 m untuk daerah tumpuan kanan adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

DAERAH TUMPUAN KIRI

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri balok lift menggunakan momen terbesar akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 18.081.254,18 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn = \frac{18.081.254,18 \text{ Nmm}}{0,8} = 22.601.567,73 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$Mns = 22.601.567,73 \text{ Nmm} - 700.745.976,56 \text{ Nmm}$$

$$Mns = -678.144.408,84 \text{ Nmm}$$

$$Mns < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{22.601.567,73 \text{ N.mm}}{450 \text{ mm} \cdot (638,5 \text{ mm})^2}$$

$$= 0,123 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,123 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$= 0,00031$$

Syarat:

$$\begin{array}{ccccc} \rho_{\min} & < & \rho & < & \rho_{\min} \\ 0,0035 & > & 0,00031 & < & 0,0203 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)} \end{array}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,00031 \times 1,3 = 0,0004$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 450 \text{ mm} \times 635,5 \text{ mm} \\ &= 1.005,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D 19 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{1.005,64 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 3,55 \cong 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **4D19**.

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times A_{s \text{ tul. tarik}} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1.134,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{array}{ccc} A_{s \text{ pasang}} & \geq & A_{s \text{ perlu}} \\ 1.134,11 \text{ mm}^2 & \geq & 1.005,64 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{array}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_s' \text{ perlu} &= 0,3 \times A_{s \text{ pasang}} \\ &= 0,3 \times 1.134,11 \text{ mm}^2 \\ &= 340,23 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_s' \text{ perlu}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{340,23 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,2 \cong 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D19**.

$$\begin{aligned} A_s'_{\text{pasang}} &= n \times A_{s_{\text{tul.tekan}}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_s'_{\text{pasang}} &\geq A_s'_{\text{perlu}} \\ 567,06 \text{ mm}^2 &\geq 340,23 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{maks}} &\leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2xt_{\text{selimut}}) - (2x\phi_{\text{geser}}) - (nx D_{\text{lentur}})}{n - 1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (4x19 \text{ mm})}{4 - 1} \\ &= 90 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} \\ 90 \text{ mm} &< 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2xt_{\text{selimut}}) - (2x\phi_{\text{geser}}) - (nx D_{\text{lentur}})}{n - 1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (2x19 \text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 308 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} \\ 308 \text{ mm} &> 30 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok lift 45/70 untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **4D19**.

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &= n \times A_{Stul.tarik} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19\text{ mm})^2 \\ &= 1.134,11\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D19**.

$$\begin{aligned} A_{S'pasang} &= n \times A_{Stul.tekan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19\text{ mm})^2 \\ &= 567,06\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

$$\begin{aligned} 567,06\text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 1.134,11\text{ mm}^2 \\ 567,06\text{ mm}^2 &> 378,04\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Kontrol kemampuan penampang

$A_{S_{pasang}}$ tulangan tarik **4D19** = 1.134,11 mm²

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{1.134,11 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

$$a = 47,44 \text{ mm}$$

$$C c' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$C c' = 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 47,44 \text{ mm}$$

$$C c' = 453.645,98 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai} \times f_y$$

$$T = 1.134,11 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 453.645,98 \text{ N}$$

$$M_n = \left(C c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$M_n = \left(453.645,98 \text{ N} \times \left(638,5 \text{ mm} - \frac{47,77 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$M_n = 278.892.451,85 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta \cdot M_n \text{ pasang} > M_u$$

$$0,8 \times 278.892.451,85 \text{ Nmm} > 18.081.254,18 \text{ Nmm}$$

$$223.113.961,48 \text{ Nmm} > 18.081.254,18 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

Jadi, penulangan lentur untuk balok lift 45/70 dengan bentang 2,775 m untuk daerah tumpuan kiri adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

DAERAH LAPANGAN

Perhitungan tulangan lentur lapangan balok lift menggunakan momen terbesar akibat kombinasi $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 23.932.439,88 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{23.932.439,88 \text{ Nmm}}{0,8} = 29.915.594,85 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 29.915.594,85 \text{ Nmm} - 700.745.976,56 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -670.830.426,71 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{29.915.594,85 \text{ N.mm}}{450 \text{ mm} \cdot (638,5 \text{ mm})^2} = 0,163 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.18,824.0,163 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2}} \right) = 0,00041$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\min}$$

$$0,0035 > 0,00041 < 0,0203 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,00041 \times 1,3 = 0,00053$

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 450 \text{ mm} \times 635,5 \text{ mm} = 1.005,64 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **D 19 mm** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{1.005,64 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 3,55 \cong 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **4D19**.

$$As_{\text{pasang}} = n \times As_{\text{tul. tarik}} = 4 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 = 1.134,11 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &\geq A_{s_{perlu}} \\ 1.134,11 \text{ mm}^2 &\geq 1.005,64 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{s'_{perlu}} &= 0,3 \times A_{s_{pasang}} \\ &= 0,3 \times 1.134,11 \text{ mm}^2 \\ &= 340,23 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s'_{perlu}}}{\text{Luasan tulangan}}$$

$$n = \frac{340,23 \text{ mm}^2}{0,25 \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,2 \cong 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D19**.

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &= n \times A_{s_{tul.tekan}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &\geq A_{s'_{perlu}} \\ 567,06 \text{ mm}^2 &\geq 340,23 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang.

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nx D_{lentur})}{n - 1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (4x19 \text{ mm})}{4 - 1} \\ &= 90 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 90 \text{ mm} & < & 30 \text{ mm} \end{array}$$

(MEMENUHI)

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2xt_{selimut}) - (2x\phi_{geser}) - (nxD_{lentur})}{n - 1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - (2x40 \text{ mm}) - (2x12 \text{ mm}) - (2x19 \text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 308 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 308 \text{ mm} & > & 30 \text{ mm} \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok lift 45/70 untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur \text{ tumpuan}(+) } \geq \frac{1}{3} M_{lentur \text{ tumpuan}(-)}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan tarik **4D19**.

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \times A_{s\text{tul.tarik}} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1.134,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan **2D19**.

$$\begin{aligned} A_{s'\text{pasang}} &= n \times A_{s\text{tul.tekan}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur tumpuan}(+)} &\geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan}(-)} \\ 567,06 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 1.134,11 \text{ mm}^2 \\ 567,06 \text{ mm}^2 &> 378,04 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s\text{pasang}} \text{ tulangan tarik } \mathbf{4D19} = 1.134,11 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b} \\ a &= \frac{1.134,11 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}} \\ a &= 47,44 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 47,44 \text{ mm}$$

$$Cc' = 453.645,98 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai } x f_y$$

$$T = 1.134,11 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 453.645,98 \text{ N}$$

$$M_n = \left(C c' x \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$M_n = \left(453.645,98 \text{ N} \times \left(638,5 \text{ mm} - \frac{47,77 \text{ mm}}{2} \right) \right)$$

$$M_n = 278.892.451,85 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\theta . M_n \text{ pasang} > M_u$$

$$0,8 \times 278.892.451,85 \text{ Nmm} > 23.932.439,88 \text{ Nmm}$$

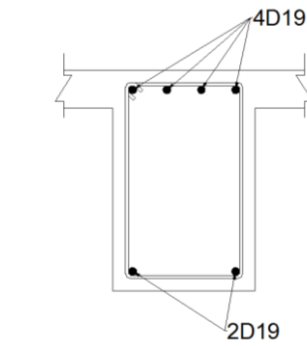
$$223.113.961,48 \text{ Nmm} > 23.932.439,88 \text{ Nmm}$$

(MEMENUHI)

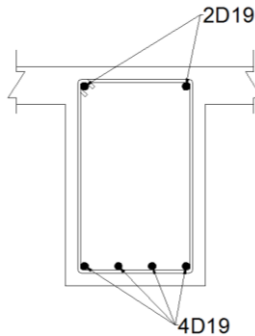
Jadi, penulangan lentur untuk balok lift 45/70 dengan bentang 2,775 m untuk daerah lapangan adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**



Gambar 4.70. Detail Tulangan Lentur Tumpuan Balok Lift



Gambar 4.71. Detail Tulangan Lentur Lapangan Balok Lift

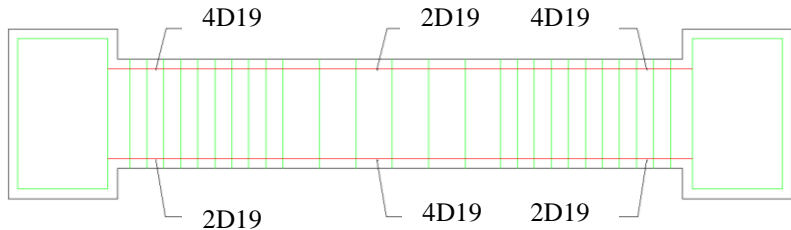
- Perhitungan tulangan geser

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok lift. Luasan tulangan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan momen nominal kanan.

Berdasarkan hasil SAP 2000, gaya terfaktor geser terbesar diperoleh dari kombinasi $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$, yaitu $V_u = 24.149,89 \text{ N}$.

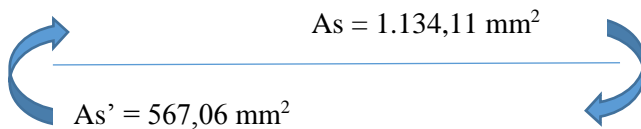
Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.



Gambar 4.72. Potongan Penampang Balok Lift Melintang

- 1) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan.



Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{As' \cdot fy}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{567,06 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

$$a = 23,72 \text{ mm}$$

$$M_{nl} = As' \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 567,06 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(638,5 \text{ mm} - \frac{23,72 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 142.136.352,39 \text{ Nmm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{1.134,11 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

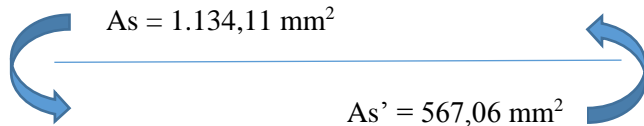
$$a = 47,44 \text{ mm}$$

$$M_{nr} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 1.134,11 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(638,5 \text{ mm} - \frac{47,44 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 278.892.451,85 \text{ Nmm}$$

2) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri.



Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{1.134,11 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

$$a = 47,44 \text{ mm}$$

$$M_{nl} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 1.134,11 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(638,5 \text{ mm} - \frac{47,44 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 278.892.451,85 \text{ Nmm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{A_s' \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{567,06 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

$$a = 23,72 \text{ mm}$$

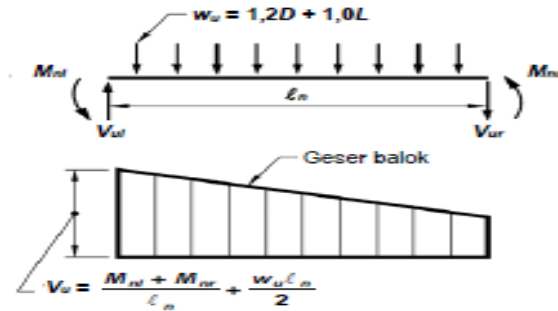
$$M_{nr} = A_s' \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$$

$$M_{nr} = 567,06 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(638,5 \text{ mm} - \frac{23,72 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{nr} = 142.136.352,39 \text{ Nmm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4.

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



Gambar 4.73. Geser Desain Untuk SRPMM

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\ell_n} + \frac{W_u \times \ell_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\ell_n} + V_u$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.3.1(a))

Keterangan :

V_{u1} : Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

L_n : Panjang bersih balok

Karena hasil M_n untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyak ke kiri maka $V_{u1} = V_{u2}$.

$$\begin{aligned} l_n &= L_{\text{balok}} - 2\left(\frac{1}{2} \cdot b_{\text{balok}}\right) \\ &= 2775 \text{ mm} - 2\left(\frac{1}{2} \cdot 450 \text{ mm}\right) \\ &= 2325 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan :

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u \\ V_{u1} &= \frac{142.136.352,39 \text{ mm} + 278.892.451,85 \text{ Nmm}}{(2325 \text{ mm})} \\ &\quad + 24.149,89 \text{ N} \\ V_{u1} &= 205.237,55 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Sesuai dengan persyaratan pada *SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2* yaitu nilai akar f_c' yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa.

$$\begin{array}{rcl} \sqrt{f_c'} & < & 8,3 \\ \sqrt{25 \text{ MPa}} & < & 8,3 \\ 5 \text{ MPa} & < & 8,3 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{array}$$

Kuat geser beton

Sesuai dengan *SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1*:

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

Dengan nilai $\lambda = 1$, untuk beton normal.

Maka,

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 450 \text{ mm} \times 638,5 \text{ mm}$$

$$V_c = 239.437,5 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s \text{ min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{1}{3} \times 450 \text{ mm} \times 638,5 \text{ mm}$$

$$V_{s \text{ min}} = 95.775 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d$$

$$V_{s \text{ max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{25} \times 450 \text{ mm} \times 638,5 \text{ mm}$$

$$V_{s \text{ max}} = 478.875 \text{ N}$$

$$2 V_{s \text{ max}} = 2 \times 478.875 \text{ N}$$

$$2 V_{s \text{ max}} = 957.750 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Wilayah pada daerah geser balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom tengah bentang.
2. Wilayah 2 (daerah lapangan) dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke tengah bentang balok.

Perhitungan penulangan geser balok

WILAYAH 1 & 3 (TUMPUAN)

$$V_{u1} = 205.237,55 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c$$

$$205.237,55 \text{ N} > 89.789,06 \text{ N}$$

(TIDAK MEMENUHI)

2. Kondisi 2 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot V_c$$

$$89.789,06 \text{ N} \leq 205.237,55 \text{ N} > 179.578,13 \text{ N}$$

(TIDAK MEMENUHI)

3. Kondisi 3 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{smin})$$

$$179.578,13 \text{ N} \leq 205.237,55 \text{ N} > 251.409,38 \text{ N}$$

(MEMENUHI)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok lift menggunakan pesyaratan kondisi 3, yaitu memerlukan tulangan geser minimum.

Syarat spasi tulangan:

$$S_{maks} \leq d/4 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = d/4$$

$$= 638,5 \text{ mm}/4$$

$$= 159,625 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Digunakan spasi tulangan minimum 150 mm.

Kontrol:

$$S < S_{maks}$$

$$150 \text{ mm} < 159,625 \text{ mm}$$

Luas tulangan geser minimum:

$$Av_{min} = \frac{bw \cdot s}{3fy}$$

$$Av_{min} = \frac{300 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}}{3 \cdot 320 \text{ N/mm}^2}$$

$$Av_{min} = 70,31 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$Av = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$Av = \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (12 \text{ mm})^2 \times 2$$

$$Av = 226,19 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$\begin{array}{ccc} Av & > & Av_{min} \\ 226,19 \text{ mm}^2 & > & 70,31 \text{ mm}^2 \end{array} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih 50 mm dari perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a. $d/4$
- b. Delapan kali diameter tulangan longitudinal

- c. 24 kali diameter sengkang
- d. 300 mm

Cek persyaratan :

- a. $S_{pakai} < d/4$
 $150 \text{ mm} < 638,5 \text{ mm}/4$
 $150 \text{ mm} < 159,625 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**
- b. $S_{pakai} < 8 \times D_{lentur}$
 $150 \text{ mm} < 8 \times 19 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 152 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**
- c. $S_{pakai} < 24 \times D_{geser}$
 $150 \text{ mm} < 24 \times 12 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 288 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**
- d. $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ **(MEMENUHI)**

Maka, digunakan tulangan geser (sengkang) Ø12 - 150 mm pada daerah tumpuan kiri dan kanan dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

WILAYAH 2 (LAPANGAN)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{Vu2}{0,5 \ln - 2h} = \frac{Vu1}{0,5 \ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \times (0,5 \ln - 2h)}{0,5 \ln}$$

$$Vu2 = \frac{205.237,55 \text{ N} \times (0,5 \times (2325 \text{ mm}) - 2 \times 700 \text{ mm})}{0,5 \times (2325 \text{ mm})}$$

$$Vu2 = -41.930,25 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c$$

$$-41.930,25 \text{ N} < 89.789,06 \text{ N}$$

(MEMENUHI)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok lift menggunakan pesyaratan kondisi 1, yaitu tidak memerlukan tulangan geser.

Maka dipasang jarak minimum 150 mm antar tulangan geser.

$$Av = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$Av = \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (12\text{mm})^2 \times 2$$

$$Av = 226,19 \text{ mm}^2$$

$$Av_{min} = \frac{bw \cdot s}{3fy}$$

$$Av_{min} = \frac{450 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}}{3 \cdot 320 \text{ N/mm}^2}$$

$$Av_{min} = 70,31 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$Av > Av_{min}$$

$$226,19 \text{ mm}^2 > 70,31 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{maks} \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = d/2$$

$$= 635,5 \text{ mm}/2$$

$$= 319,25 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Kontrol:

$$\begin{array}{rcl} S & < & S_{\text{maks}} \\ 150 \text{ mm} & < & 319,25 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{array}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok

Pada sepanjang panjang komponen struktur lentur spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/2$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

Cek persyaratan :

- $S_{\text{pakai}} < d/2$
 $150 \text{ mm} < 635,5 \text{ mm}/2$
 $150 \text{ mm} < 319,25 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$
- $S_{\text{pakai}} < 8 \times D_{\text{lentur}}$
 $150 \text{ mm} < 8 \times 19 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$
- $S_{\text{pakai}} < 24 \times D_{\text{geser}}$
 $150 \text{ mm} < 24 \times 12 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 288 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$
- $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$

Maka, digunakan tulangan geser (sengkang) Ø12 - 150 mm pada daerah lapangan.

- **Perhitungan panjang penyaluran**

Panjang penyaluran untuk tulangan lentur D19 dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2, 12.3 dan 12.5.

1) Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik.

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'c}} \right) db \geq 300 \text{ mm}$$

Dimana,

Ψ_t = faktor lokasi tulangan, 1

Ψ_e = faktor pelapis tulangan, 1

λ = beton normal, 1

Maka,

$$l_d = \left(\frac{400 \text{ MPa} \cdot 1.1}{2,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{25 \text{ MPa}}} \right) 19 \text{ mm}$$

$$l_d = 723,81 \text{ mm}$$

Syarat:

$$l_d > 300 \text{ mm}$$

$$723,81 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$ld_{reduksi} = \frac{As_{pertu}}{As_{pasang}} l_d$$

$$ld_{reduksi} = \frac{1.005,64 \text{ mm}^2}{1.134,11 \text{ mm}^2} 723,81 \text{ mm}$$

$$ld_{reduksi} = 641,81 \text{ mm} \approx 650 \text{ mm}$$

2) Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan.

$$l_{dc} = \frac{0,24f_y}{\lambda\sqrt{f'c}} d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24.400 \text{ MPa}}{1\sqrt{25 \text{ MPa}}} \cdot 19 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 364,8 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043f_y d_b$$

$$l_{dc} = 0,043.400 \text{ MPa} \cdot 19 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 258,4 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $l_{dc} = 364,8 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{dc_{reduksi}} = \frac{A_{s_{pertu}}}{A_{s_{pasang}}} l_{dc}$$

$$l_{dc_{reduksi}} = \frac{340,23 \text{ mm}^2}{567,06 \text{ mm}^2} 364,8 \text{ mm}$$

$$l_{dc_{reduksi}} = 218,88 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

3) Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik.

$$l_{dh} = \frac{0,24\Psi_e f_y}{\lambda\sqrt{f'c}} d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \frac{0,24.400 \text{ MPa}}{1\sqrt{25 \text{ MPa}}} \cdot 19 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 364,8 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} 8d_b &= 8.(19 \text{ mm}) \\ &= 152 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

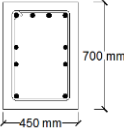
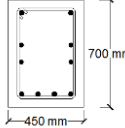
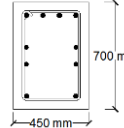
$$l_{dh} > 150 \text{ mm}$$
$$400 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$$

(MEMENUHI)

$$l_{dh} > 8d_b \text{ mm}$$
$$400 \text{ mm} > 152 \text{ mm}$$

(MEMENUHI)

- Kesimpulan penulangan

Tipe	BL1		
Wilayah	Tumpuan kiri	Lapangan	Tumpuan kanan
Balok Lift Melintang			
Dimensi	450 x 700	450 x 700	450 x 700
Tul. Atas	4D19	2D19	4D19
Tul. Sisi	4D16	4D16	4D16
Tul. Bawah	2D19	4D19	2D19
Senggang	Ø12-150	Ø12-150	Ø12-150

4.4.4. Kolom

Berikut ini akan dibahas mengenai perhitungan penulangan kolom jenis K1 (650x650)mm pada lantai 1 as D-3 berdasarkan beban aksial ultimate terbesar (Pu). Perhitungan berikut berdasarkan data perencanaan dan hasil analisis program SAP 2000. Ketentuan perhitungan dan syarat-syarat penulangan menggunakan metode SRPMM.

- Data-data perencanaan:
- Tipe kolom

As kolom

: K-1

: D-3

Tinggi kolom atas	: 3850 mm
Tinggi kolom bawah	: 4200 mm
Tinggi kolom pendek	: 500 mm
B kolom	: 650 mm
H kolom	: 650 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Modulus elastisitas beton (E_c)	: $4700 \sqrt{f_c'}$ MPa
Modulus elastisitas baja (E_s)	: 200.000 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y lentur)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_y geser)	: 240 MPa
Diameter tulangan lentur (ϕ)	: 25 mm
Diameter tulangan geser (ϕ)	: 10 mm
Tebal selimut (decking)	: 40 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1(c))

Jarak spasi antar tulangan sejajar	: 30 mm
------------------------------------	---------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.1)

Faktor β_1	: 0,85
------------------	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,8
---	-------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.1)

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
--	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ)	: 0,75
--	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

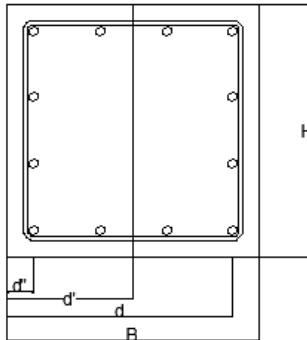
➤ Perhitungan penulangan kolom:

Maka, lebar efektif kolom :

$$\begin{aligned}
 d &= b - \text{decking} - \phi \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan lentur} \\
 &= 650 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (1/2 \times 25 \text{ mm}) \\
 &= 587,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= \text{decking} + \phi \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan lentur} \\
 &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 25 \text{ mm}) \\
 &= 62,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

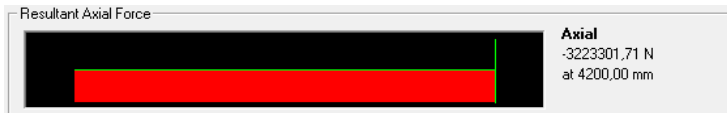
$$\begin{aligned}
 d'' &= b - \text{decking} - \phi \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan lentur} - \frac{1}{2}b \\
 &= 650\text{mm} - 40\text{mm} - 10\text{mm} + (\frac{1}{2} \times 25\text{mm}) - (\frac{1}{2} \times 650 \text{ m}) \\
 &= 262,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.74. Tinggi Efektif Kolom

Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 100 didapatkan diagram analisa sebagai berikut :

Kombinasi : 1,4D
 Nilai aksial : 3.223.301,71 N



Gambar 4.75. Diagram Gaya Aksial (1,4D) Kolom K-1

Kombinasi : 1,2D + 1,6L + 0,5Lr
 Nilai aksial : 3.946.727,79 N



Gambar 4.76. Diagram Gaya Aksial (1,2D + 1,6L + 0,5Lr) Kolom K-1

Kombinasi : 1,2D+ 0,3Ex + 1,0Ey + 1L
 Nilai aksial : 3.506.426,54 N



Gambar 4.77. Diagram Gaya Aksial (1,2D + 0,3Ex + 1,0Ey + 1L) Kolom K-1

Kombinasi : 1,2D+ 1,0Ex + 0,3Ey + 1L
 Nilai aksial : 3.515.296,09 N



Gambar 4.78. Diagram Gaya Aksial (1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1L) Kolom K-1

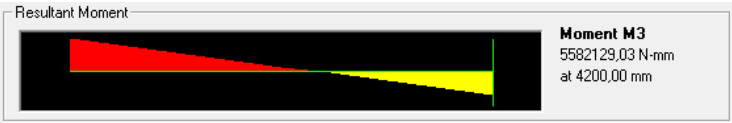
Momen akibat pengaruh beban gravitasi

Akibat kombinasi 1D + 1L + 0,5Lr :

Momen arah sumbu x

Kombinasi : 1D + 1L + 0,5Lr

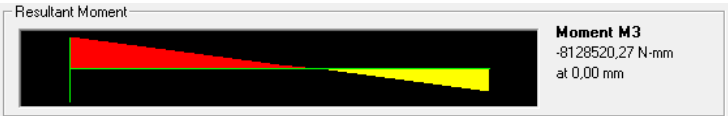
Nilai M_{1ns} : 5.582.129,03 Nmm



Gambar 4.79. Diagram M_{1ns} Sumbu X

Kombinasi : 1D + 1L + 0,5Lr

Nilai M_{2ns} : 8.128.250,27 Nmm

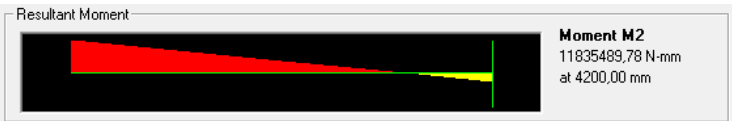


Gambar 4.80. Diagram M_{2ns} Sumbu X

Momen arah sumbu y

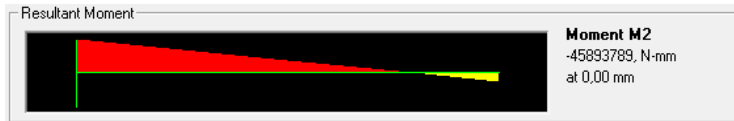
Kombinasi : 1D + 1L + 0,5Lr

Nilai M_{1ns} : 11.835.489,78 Nmm



Gambar 4.81. Diagram M_{1ns} Sumbu Y

Kombinasi : $1D + 1L + 0,5Lr$
 Nilai M_{2ns} : 45.893.789 Nmm



Gambar 4.82. Diagram M_{2ns} Sumbu Y

Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

M_{1ns} = adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping.

(SNI 03-2847-2013)

M_{2ns} = adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping.

(SNI 03-2847-2013)

Momen akibat pengaruh gaya gempa

Momen arah sumbu x

Kombinasi : $1D + 1Ex + 0,3Ey + 1L$
 Nilai M_{1s} : 270.262.974 Nmm



Gambar 4.83. Diagram M_{1s} Sumbu X

Kombinasi : 1D + 1Ex + 0,3Ey + 1L
Nilai M_{2s} : 373.449.096 Nmm



Gambar 4.84. Diagram M_{2s} Sumbu X

Momen arah sumbu y
Kombinasi : 1D + 0,3Ex + 1Ey + 1L
Nilai M_{1s} : 104.687.951 Nmm



Gambar 4.85. Diagram M_{1s} Sumbu Y

Kombinasi : 1D + 0,3Ex + 1Ey + 1L
Nilai M_{2s} : 126.243.762,4 Nmm



Gambar 4.86. Diagram M_{2s} Sumbu Y

Momen akibat pengaruh beban gempa :

M_{1s} = adalah momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam satuan Nmm.

(SNI 03-2847-2013)

M_{2s} = adalah momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam satuan Nmm..

(SNI 03-2847-2013)

Syarat gaya aksial pada kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2 gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh melebihi dari persamaan $A_g \cdot f_c' / 10$, bila P_u lebih besar maka perhitungan menggunakan SRPMM.

$$\frac{A_g \cdot f_c'}{10} < P_u$$

$$\frac{422.500 \text{ mm}^2 \cdot 25 \text{ N/mm}^2}{10} < 3.946.727,9 \text{ N}$$

$$1.056.250 \text{ N} < 3.946.727,9 \text{ N}$$

- Perhitungan tulangan lentur

Menghitung kontrol kelangsingan kolom

$$\beta d = \frac{P_u(\text{akibat beban gravitasi})}{P_u(\text{akibat beban gempa})}$$

Keterangan :

βd = Rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

Maka :

$$\beta d = \frac{3.946.727,9 \text{ N}}{3.515.296,09 \text{ N}}$$

$$\beta d = 1,12273$$

Kolom (65 x 65) mm²

$$Elk = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6,1)

$$\begin{aligned} Ig &= 0,7 \times 1/12 \times B \times H^3 \\ &= 0,7 \times 1/12 \times 650 \text{ mm} \times (650 \text{ mm})^3 \\ &= 10.412.864.583 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ec &= 4700 \sqrt{25} \\ &= 23.500 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$Elk = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

$$Elk = \frac{0,4 \times 23.500 \text{ MPa} \times 10.412.864.583 \text{ mm}^4}{1 + 1,12273}$$

$$Elk = 46.110.872.964.591 \text{ Nmm}^2$$

Balok induk memanjang (45/70)

$$Elb = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6,1)

$$\begin{aligned} Ig &= 0,7 \times 1/12 \times B \times H^3 \\ &= 0,7 \times 1/12 \times 450 \text{ mm} \times (700 \text{ mm})^3 \\ &= 4.501.875.000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ec &= 4700 \sqrt{25} \\ &= 23.500 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EI_k &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta d} \\
 EI_b &= \frac{0,4 \times 23.500 \text{ MPa} \times 4.501.875.000 \text{ mm}^4}{1 + 1,12273} \\
 EI_b &= 19.935.473.525.674 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Balok induk melintang (45/70)

$$EI_b = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta d}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6,1)

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,7 \times 1/12 \times B \times H^3 \\
 &= 0,7 \times 1/12 \times 450 \text{ mm} \times (700 \text{ mm})^3 \\
 &= 4.501.875.000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{25} \\
 &= 23.500 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EI_b &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta d} \\
 EI_b &= \frac{0,4 \times 23.500 \text{ MPa} \times 4.501.875.000 \text{ mm}^4}{1 + 1,12273} \\
 EI_b &= 19.935.473.525.674 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Sloof melintang (45/70)

$$EI_s = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta d}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6,1)

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,7 \times 1/12 \times B \times H^3 \\
 &= 0,7 \times 1/12 \times 450 \text{ mm} \times (700 \text{ mm})^3 \\
 &= 4.501.875.000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{25} \\
 &= 23.500 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$EIs = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

$$EIs = \frac{0,4 \times 23.500 \text{ MPa} \times 4.501.875.000 \text{ mm}^4}{1 + 1,12273}$$

$$EIs = 19.935.473.525.674 \text{ Nmm}^2$$

Sloof memanjang (45/70)

$$EIs = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6,1)

$$\begin{aligned} Ig &= 0,7 \times 1/12 \times B \times H^3 \\ &= 0,7 \times 1/12 \times 450 \text{ mm} \times (700 \text{ mm})^3 \\ &= 4.501.875.000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ec &= 4700 \sqrt{25} \\ &= 23.500 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$EIs = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

$$EIs = \frac{0,4 \times 23.500 \text{ MPa} \times 4.501.875.000 \text{ mm}^4}{1 + 1,12273}$$

$$EIs = 19.935.473.525.674 \text{ Nmm}^2$$

Selanjutnya, menghitung faktor panjang tekuk kolom (k) dengan persamaan sebagai berikut :

Kekakuan kolom atas

$$\psi_a = \frac{\Sigma (EI/L)_{kolom \text{ atas}}}{(EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{S1} + (EI/L)_{S1}}$$

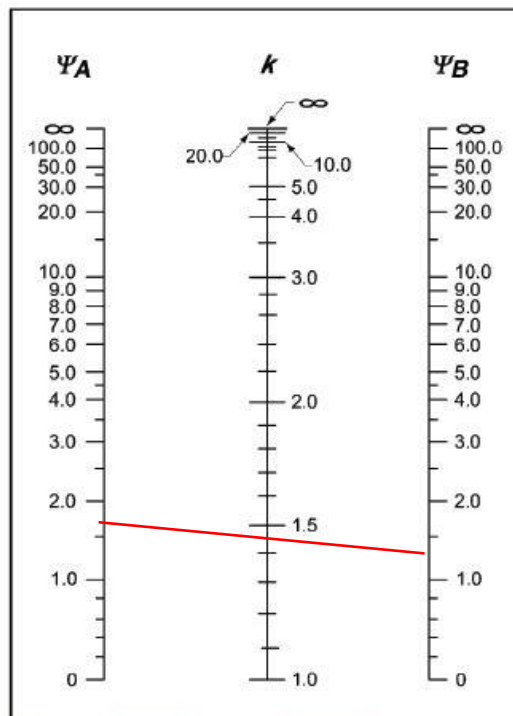
$$\psi_a = 1,657$$

Kekakuan kolom bawah

$$\psi_b = \frac{\Sigma (EI/L)_{kolom atas}}{(EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{S1} + (EI/L)_{S1}}$$

$$\psi_b = 1,194$$

Selanjutnya digunakan nomogram untuk menentukan nilai faktor kekakuan kolom (k).



Gambar 4.87. Nomogram Faktor Kekakuan Kolom (Rangka Bergoyang)

Dari nomogram di atas didapatkan nilai $k = 1,45$

Menghitung jari-jari inersia (r)

$$r = 0,2887h$$

$$r = 0,2887 \times 650 \text{ mm}$$

$$r = 187,655 \text{ mm}$$

Kontrol kelangsingan

$$\lambda = \frac{k \cdot lu}{r} \leq 22 \text{ (pengaruh kelangsingan diabaikan)}$$

$$\frac{1,42 \cdot 4200 \text{ mm}}{187,655 \text{ mm}} \leq 22$$

$$31,7817 > 22$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 10.10 maka kolom termasuk kolom langsing.

Peninjauan kolom akibat momen arah X (M33)

Berdasarkan output analisis menggunakan program SAP 2000, diperoleh hasil gaya dalam arah X sebagai berikut :
Akibat kombinasi beban gempa (1D + 1Ex + 0,3Ey + 1L)

$$M_{1s} = 270.262.974 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 373.449.096 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi beban gravitasi (1D + 1L + 0,5Lr)

$$M_{1ns} = 5.582.129,03 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 8.128.520,27 \text{ Nmm}$$

Menghitung nilai P_c (kritis) pada kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{k \cdot lu^2}$$

$$P_c = \frac{9,86 \times 46.110.872.964.591 \text{ Nmm}^2}{(1,42 \times 4200 \text{ mm})^2}$$

$$P_c = 12.794.633 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = n \times P_c$$

$$\Sigma P_c = 45 \times 12.083.363 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = 575.758.468 \text{ N}$$

$$\Sigma P_u = n \times P_u$$

$$\Sigma P_u = 45 \times 3.946.727,9 \text{ N}$$

$$\Sigma P_u = 177.602.756 \text{ N}$$

Menghitung faktor pembesaran momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \times \Sigma P_c}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{177.602.756 \text{ N}}{0,75 \times 575.758.468 \text{ N}}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,699 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta_s = 1,699$ yang digunakan dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen kolom arah X (M33)

Pembesaran momen arah X (M33) :

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s \cdot M_{1s} \\ &= 5.582.129,03 \text{ Nmm} + (1,699 \times 270.262.974 \text{ Nmm}) \\ &= 464.658.675 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s} \\ &= 8.128.520,27 \text{ Nmm} + (1,699 \times 373.449.096 \text{ Nmm}) \\ &= 642.480.013 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dalam 2 perhitungan pembesaran momen diatas digunakan hasil terbesar yaitu 642.480.013 Nmm

Menentukan ρ_{perlu} dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom digunakan diagram interaksi berdasarkan buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang.

Perhitungan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah :

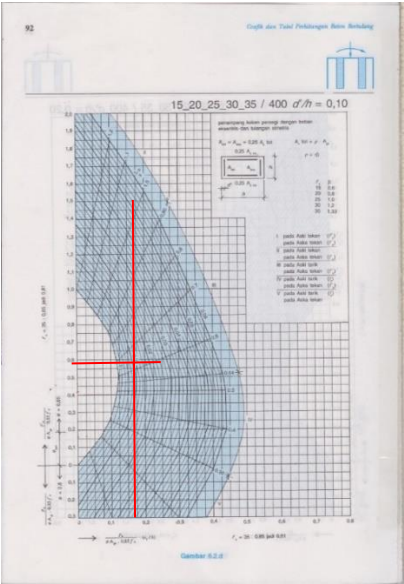
$$\frac{d'}{h} = \frac{62,5 \text{ mm}}{650 \text{ mm}} = 0,1$$

Sumbu vertikal :

$$v = \frac{Pu}{\phi \cdot b \cdot h \cdot 0,85 \cdot f'c'}$$
$$v = \frac{3.946.727,9 \text{ N}}{0,65 \times 650 \text{ mm} \times 650 \text{ mm} \times 0,85 \times 25 \text{ MPa}}$$
$$v = 0,68$$

Sumbu horizontal :

$$h = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot h^2 \cdot 0,85 \cdot f'c'}$$
$$h = \frac{642.480.013 \text{ Nmm}}{0,65 \times 650 \text{ mm} \times (650 \text{ mm})^2 \times 0,85 \times 25 \text{ MPa}}$$
$$h = 0,169$$



Gambar 4.88. Tabel Diagram Interaksi

Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 0,013$

Selanjutnya dihitung luas tulangan lentur yang dibutuhkan.

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0,013 \times 650\text{mm} \times 650\text{mm} \\ &= 5.492,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan D25, maka luas tulangan :

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (25\text{mm})^2 \\ &= 491 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan D25}} \\ n &= \frac{5.492,5 \text{ mm}^2}{491 \text{ mm}^2} \\ n &= 11,19 \approx 12 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \right) \\ &= 12 \times \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times (25 \text{ mm})^2 \right) \\ &= 5.890,49 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol tulangan :

$\text{As pasang} > \text{As perlu}$

$$5.890,49 \text{ mm}^2 > 5.492,5 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)}$$

Prosentase tulangan terpasang :

$$\begin{aligned} \text{Prosentase} &= \frac{\text{As pasang}}{b \times h} \times 100\% \\ &= \frac{5.890,49}{650\text{mm} \times 650\text{mm}} \times 100\% \\ &= 1,39 \% < 8\% \text{ (Ok)} \end{aligned}$$

Mencari nilai e min dan e perlu

$$P_n = \frac{3.946.727,9 \text{ N}}{0,65}$$

$$P_n = 7.893.456 \text{ N}$$

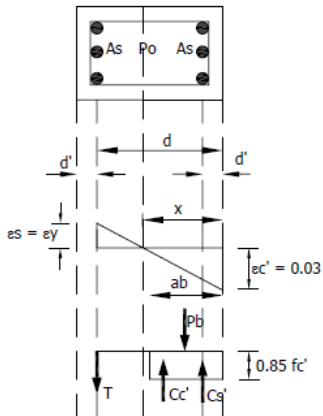
$$M_n = \frac{642.480.013 \text{ Nmm}}{0,65}$$

$$M_n = 988.430.789 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{perlu}} &= M_n / P_n \\ &= \frac{988.430.789 \text{ Nmm}}{7.893.456 \text{ N}} \\ &= 162,79 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{min}} &= (15,24 + 0,03h) \\ &= (15,24 + (0,03 \times 650 \text{ mm})) \\ &= 34,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek kondisi balance



Syarat :

$$\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y$$

$$\begin{aligned} d &= 650 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - (1/2 \times 25 \text{ mm}) \\ &= 587,5 \text{ mm} \\ d' &= 10 \text{ mm} + 40 \text{ mm} + (1/2 \times 25 \text{ mm}) \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= 660\text{mm} - 10\text{mm} - 40\text{mm} - (\frac{1}{2} \times 25\text{mm}) - (\frac{1}{2} \times 650\text{mm}) \\ &= 262,5\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} xb &= \frac{600}{600 + f_y} d \\ &= \frac{600}{600 + 400\text{MPa}} \times 587,5\text{mm} \\ &= 352,5\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ab &= \beta_1 \cdot xb \\ &= 0,85 \times 352,5\text{mm} \\ &= 299,625\text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= As' \cdot (f_y - 0,85fc') \\ &= 5.890,49\text{ mm}^2 \cdot (400\text{ MPa} - (0,85 \times 25\text{ MPa})) \\ &= 2.231.022\text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot fc' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot xb \\ &= 0,85 \times 25\text{ MPa} \times 650\text{mm} \times 0,85 \times 352,5\text{ mm} \\ &= 4.138.570\text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= As \cdot f_y \\ &= 5.890,49\text{ mm}^2 \times 400\text{ MPa} \\ &= 2.356.194\text{ N} \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow Pb = Cc' + Cs' - T$$

$$\begin{aligned} Pb &= 4.138.570\text{ N} + 2.231.022\text{ N} - 2.356.194\text{ N} \\ &= 4.013.397\text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mb &= Cc'(d - d'' - \frac{1}{2} ab) + Cs'(d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 4.138.570\text{ N} (587,5\text{mm} - 262,5\text{mm} - \\ &\quad (299,625\text{mm}/2)) + 2.231.022\text{ N} (587,5\text{mm} - \\ &\quad 262,5\text{mm} - 62,5\text{mm}) + (2.356.194\text{ N} \times 262,5\text{mm}) \\ &= 2.694.933.235\text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} eb &= Mb/Pb \\ &= 2.694.933.235\text{ Nmm}/4.013.397\text{ N} \\ &= 671\text{mm} \end{aligned}$$

Kontrol kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$ (Tekan menentukan)

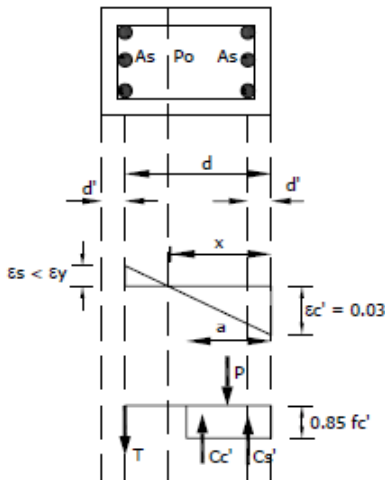
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balance}}$ (Tarik menentukan)

Maka :

$34,5 \text{ mm} < 162,79 \text{ mm} < 671 \text{ mm}$

Kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Kontrol kondisi tekan menentukan



Syarat :

$e < e_b$

$40,08 \text{ mm} < 891 \text{ mm}$ (ok)

$P > P_b$

$\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow f_s < f_y$

Mencari nilai x

$$a = 0,54 d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 587,5 \text{ mm}$$

$$x = 373,235 \text{ mm}$$

Mencari nilai a

$$a = 0,85 x$$

$$= 0,85 \times 373,325 \text{ mm}$$

$$= 298,59 \text{ mm}$$

Syarat : $\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow f_s < f_y$

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 0,003 \\ &= \left(\frac{587,5 \text{ mm}}{373,235 \text{ mm}} - 1\right) \cdot 0,003 \\ &= 0,0017\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 600 \\ &= \left(\frac{587,5 \text{ mm}}{373,235 \text{ mm}} - 1\right) \cdot 600 \\ &= 344,44 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_y &= f_y/E_s \\ &= 400 \text{ MPa}/200.000 \text{ MPa} \\ &= 0,002\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{array}{llll}\varepsilon_s & < & \varepsilon_y & \\ 0,0017 & < & 0,002 & \text{(OK)} \\ f_s & < & f_y & \\ 344,44 \text{ MPa} & < & 400 \text{ MPa} & \text{(OK)}\end{array}$$

$$\begin{aligned}C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 5.492,5 \text{ mm}^2 \cdot (400 \text{ MPa} - (0,85 \times 25 \text{ MPa})) \\ &= 2.231.022 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot x \\ &= 0,85 \times 25 \text{ MPa} \times 650 \text{ mm} \times 0,85 \times 373,235 \text{ mm} \\ &= 4.382.016 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T &= A_s \cdot f_y \\ &= 5.492,5 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \\ &= 2.356.194 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma V &= 0 \rightarrow P = C_c' + C_s' - T \\ P &= 4.382.016 \text{ N} + 2.231.022 \text{ N} - 2.356.194 \text{ N} \\ &= 4.256.843 \text{ N}\end{aligned}$$

Syarat :

$$P > Pb$$

$$4.256.483 \text{ N} > 4.013.397 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

$$Mn_{\text{terpasang}} = Cc'(d - d'' - \frac{1}{2} a) + Cs'(d - d'' - d') + T.d''$$

$$= 4.382.016 \text{ N} \times (587,5\text{mm} - 262,5\text{mm} - (\frac{1}{2} \times 298,59 \text{ mm})) + 2.231.022 \text{ N} \times (587,5\text{mm} - 237,5\text{mm} - 62,5\text{mm}) + (2.356.194 \text{ N} \times 262,5\text{mm})$$

$$Mn_{\text{terpasang}} = 1.810.537.872 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$Mn_{\text{terpasang}} > Mn$$

$$1.810.537.872 \text{ Nmm} > 988.430.789 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Peninjauan kolom akibat momen arah Y (M22)

Berdasarkan output analisis menggunakan program SAP 2000, diperoleh hasil gaya dalam arah Y sebagai berikut :

Akibat kombinasi beban gempa (1D + 0,3Ex + 1Ey + 1L)

$$M_{1s} = 272.813.685,7 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 403.545.133 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi beban gravitasi (1D + 1L + 0,5Lr)

$$M_{1ns} = 11.835.486,78 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 45.893.789 \text{ Nmm}$$

Menghitung nilai Pc (kritis) pada kolom

$$Pc = \frac{\pi^2 EI}{k \cdot lu^2}$$

$$Pc = \frac{9,86 \times 46.110.872.964.591 \text{ Nmm}^2}{(1,42 \times 4200\text{mm})^2}$$

$$Pc = 12.794.633 \text{ N}$$

$$\Sigma Pc = n \times Pc$$

$$\Sigma Pc = 45 \times 12.794.633 \text{ N}$$

$$\Sigma Pc = 575.758.468 \text{ N}$$

$$\Sigma Pu = n \times Pu$$

$$\Sigma Pu = 45 \times 3.946.727,9 \text{ N}$$

$$\Sigma Pu = 177.602.756 \text{ N}$$

Menghitung faktor pembesaran momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma Pu}{0,75 \times \Sigma Pc}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{177.602.756 \text{ N}}{0,75 \times 575.758.468 \text{ N}}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,699 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta_s = 1,699$ yang digunakan dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen kolom arah Y (M22)

Pembesaran momen arah Y (M22) :

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s \cdot M_{1s} \\ &= 11.835.486,78 \text{ Nmm} + (1,699 \times 272.813.685,7 \text{ Nmm}) \\ &= 475.244.745 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s} \\ &= 45.893.789 \text{ Nmm} + (1,699 \times 403.545.133 \text{ Nmm}) \\ &= 731.367.285 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dalam 2 perhitungan pembesaran momen diatas digunakan hasil terbesar yaitu 731.367.285 Nmm

Menentukan ρ_{perlu} dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom digunakan diagram interaksi berdasarkan buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang . Perhitungan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah :

$$\frac{d'}{h} = \frac{62,5 \text{ mm}}{650 \text{ mm}} = 0,10$$

Sumbu vertikal :

$$v = \frac{Pu}{\phi \cdot b \cdot h \cdot 0,85 \cdot f_c'}$$

$$v = \frac{3.946.727,9 \text{ N}}{0,65 \times 650 \text{ mm} \times 650 \text{ mm} \times 0,85 \times 25 \text{ MPa}}$$

$$v = 0,68$$

Sumbu horizontal :

$$h = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot h^2 \cdot 0,85 \cdot f_c'}$$

$$h = \frac{731.367.285 \text{ Nmm}}{0,65 \times 650 \text{ mm} \times (650 \text{ mm})^2 \times 0,85 \times 25 \text{ MPa}}$$

$$h = 0,193$$

Dipakai tulangan D25, maka luas tulangan :

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (25\text{mm})^2 \\ &= 491 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}n &= \frac{As \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan D25}} \\ n &= \frac{7.605 \text{ mm}^2}{491 \text{ mm}^2} \\ n &= 15,49 \approx 16\end{aligned}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \times (\frac{1}{4} \times \pi \times d^2) \\ &= 16 \times (\frac{1}{4} \times 3,14 \times (25 \text{ mm})^2) \\ &= 7.853,98 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol tulangan :

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 7.853,98 \text{ mm}^2 &> 7.605 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)}\end{aligned}$$

Prosentase tulangan terpasang :

$$\begin{aligned}\text{Prosentase} &= \frac{As \text{ pasang}}{b \times h} \times 100\% \\ &= \frac{7.853,98}{650\text{mm} \times 650\text{mm}} \times 100\% \\ &= 1,86\% < 8\% \text{ (Ok)}\end{aligned}$$

Mencari nilai e min dan e perlu

$$\begin{aligned}Pn &= \frac{3.946.727,9 \text{ N}}{0,65} \\ Pn &= 7.893.456 \text{ N}\end{aligned}$$

$$Mn = \frac{731.367.285 \text{ Nmm}}{0,65}$$

$$Mn = 1.125.180.438 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} e \text{ perlu} &= Mn/Pn \\ &= \frac{1.125.180.438 \text{ Nmm}}{3.946.727,9 \text{ N}} \end{aligned}$$

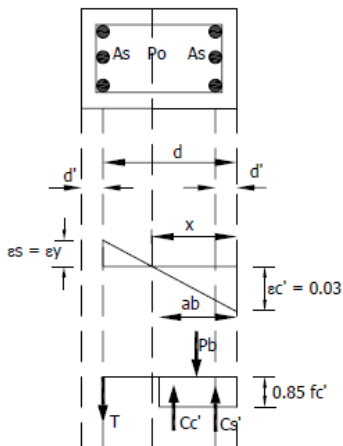
$$= 185,31 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} e \text{ min} &= (15,24 + 0,03h) \\ &= (15,24 + (0,03 \times 650 \text{ mm})) \\ &= 34,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek kondisi balance

Syarat :

$$\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y$$



$$\begin{aligned} d &= 650 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - (1/2 \times 25 \text{ mm}) \\ &= 587,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= 10 \text{ mm} + 40 \text{ mm} + (1/2 \times 25 \text{ mm}) \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= 650 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - (1/2 \times 25 \text{ mm}) - (1/2 \times 650 \text{ mm}) \\ &= 262,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 xb &= \frac{600}{600+f_y} d \\
 &= \frac{600}{600+400\text{MPa}} \times 587,5\text{mm} \\
 &= 352,5\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ab &= \beta_1 \cdot xb \\
 &= 0,85 \times 352,5\text{mm} \\
 &= 299,625 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85f_c') \\
 &= 7.853,98 \text{ mm}^2 \cdot (400 \text{ MPa} - (0,85 \times 25 \text{ MPa})) \\
 &= 2.974.696 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot xb \\
 &= 0,85 \times 25 \text{ MPa} \times 650\text{mm} \times 0,85 \times 352,5 \text{ mm} \\
 &= 4.138.570 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \cdot f_y \\
 &= 7.853,98 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \\
 &= 3.141.593 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma V &= 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T \\
 P_b &= 4.138.570 \text{ N} + 2.974.696 \text{ N} - 3.141.593 \text{ N} \\
 &= 3.971.673 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_b &= C_c'(d - d'' - \frac{1}{2} ab) + C_s'(d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 4.138.570 \text{ N} (587,5\text{mm} - 262,5\text{mm} - \\
 &\quad (299,625\text{mm}/2)) + 2.974.696 \text{ N} (587,5\text{mm} - \\
 &\quad 262,5\text{mm} - 62,5\text{mm}) + (3.141.593\text{N} \times 262,5\text{mm}) \\
 &= 3.351.569.051 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 eb &= M_b/P_b \\
 &= 3.351.569.051 \text{ Nmm}/3.971.673 \text{ N} \\
 &= 844 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$ (Tekan menentukan)

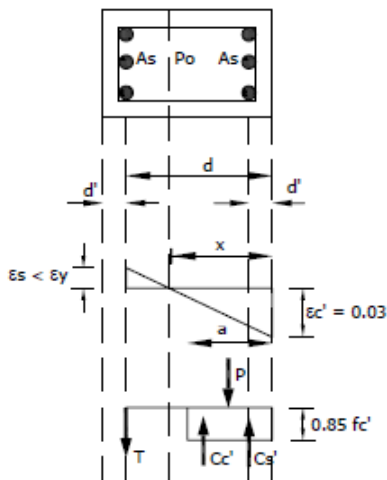
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balance}}$ (Tarik menentukan)

Maka :

$34,5 \text{ mm} < 185,31 \text{ mm} < 844 \text{ mm}$

Kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Kontrol kondisi tekan menentukan



Syarat :

$e < e_b$

$34,5 \text{ mm} < 844 \text{ mm}$ (ok)

$P > P_b$

$\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow f_s < f_y$

Mencari nilai x

$$a = 0,54 d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 587,5 \text{ mm}$$

$$x = 373,235 \text{ mm}$$

mencari nilai a

$$a = 0,85 x$$

$$= 0,85 \times 373,235 \text{ mm}$$

$$= 298,59 \text{ mm}$$

Syarat : $\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow f_s < f_y$

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003 \\ &= \left(\frac{587,5 \text{ mm}}{373,235 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 0,003 \\ &= 0,0017\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_s &= \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600 \\ &= \left(\frac{587,5 \text{ mm}}{373,235 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 \\ &= 344,44 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 400 \text{ MPa} / 200.000 \text{ MPa} \\ &= 0,002\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{array}{llll}\varepsilon_s & < & \varepsilon_y & \\ 0,0017 & < & 0,002 & \text{(OK)} \\ f_s & < & f_y & \\ 344,44 \text{ MPa} & < & 400 \text{ MPa} & \text{(OK)}\end{array}$$

$$\begin{aligned}C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 7.853,98 \text{ mm}^2 \cdot (400 \text{ MPa} - (0,85 \times 25 \text{ MPa})) \\ &= 2.974.696 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot x \\ &= 0,85 \times 25 \text{ MPa} \times 650 \text{ mm} \times 0,85 \times 373,235 \text{ mm} \\ &= 4.328.016 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T &= A_s \cdot f_y \\ &= 7.853,98 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \\ &= 3.141.593 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma V &= 0 \rightarrow P = Cc' + Cs' - T \\ P &= 4.328.016 \text{ N} + 2.974.696 \text{ N} - 3.141.593 \text{ N} \\ &= 4.215.119 \text{ N}\end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{array}{ccc} P & > & Pb \\ 4.215.119 \text{ N} & > & 3.971.673 \quad \textbf{(OK)}\end{array}$$

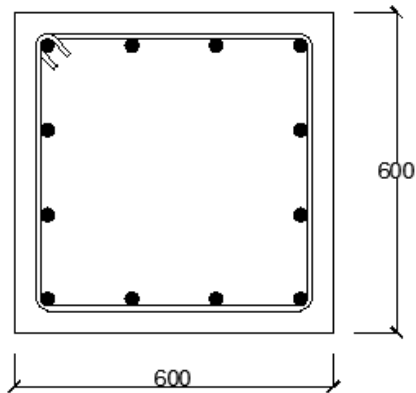
$$\begin{aligned}Mn_{\text{terpasang}} &= Cc'(d - d'' - \frac{1}{2} a) + Cs'(d - d'' - d') + T.d'' \\ &= 4.328.016 \text{ N} \times (587,5\text{mm} - 262,5\text{mm} - (\frac{1}{2} \times \\ &\quad 373,235 \text{ mm})) + 2.974.696 \text{ N} \times (587,5\text{mm} - \\ &\quad 262,5\text{mm} - 62,5\text{mm}) + (3.141.593 \text{ N} \times \\ &\quad 262,5\text{mm})\end{aligned}$$

$$Mn_{\text{terpasang}} = 2.211.919.285 \text{ Nmm}$$

Syarat:

$$\begin{array}{ccc} Mn_{\text{terpasang}} & > & Mn \\ 2.211.919.285 \text{ Nmm} & > & 731.367.285 \text{ Nmm} \quad \textbf{(OK)}\end{array}$$

Berdasarkan peninjauan momen kolom arah X dan arah Y, maka digunakan penulangan lentur terbesar sesuai dengan peninjauan momen kolom arah Y sebesar **16D25**.



Gambar 4.90. Penampang Kolom K-1

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi :

Syarat :

$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} \longrightarrow$ Susun 1 lapis

$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} \longrightarrow$ Perbesar penampang kolom

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2x t_{\text{selimut}}) - (2x \phi_{\text{geser}}) - (n x D_{\text{lentur}})}{n - 1} \\
 &= \frac{650 \text{ mm} - (2x 40 \text{ mm}) - (2x 14 \text{ mm}) - (16x 25 \text{ mm})}{14 - 1} \\
 &= 133,33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

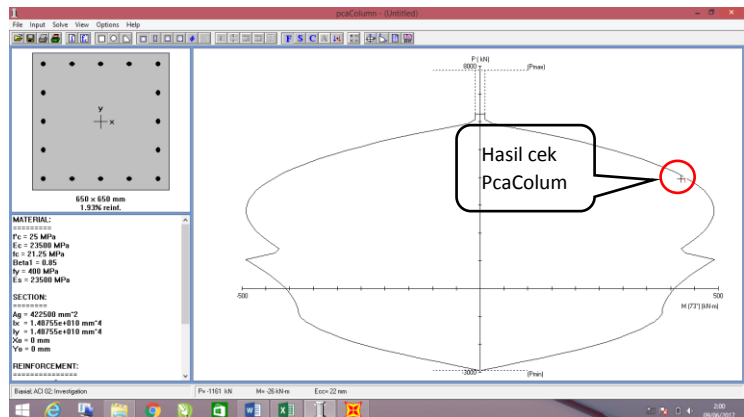
$$\begin{array}{rcl}
 S_{\max} & > & 40 \text{ mm} \\
 133,33 \text{ mm} & > & 40 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{array}$$

Maka. tulangan lentur kolom disusun 1 lapis.

Cek dengan program PcaColumn

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis PcaColumn

Mutu beton (f_c')	= 25 N/mm ²
Mutu baja tulangan (f_y)	= 400 N/mm ²
Modulus elastisitas	= 200.000 N/mm ²
β_1	= 0,85
B kolom	= 650 mm
H kolom	= 650 mm
Mux (M33 kombinasi arah Y)	= 126,243 kN-m
Muy (M22 kombinasi arah Y)	= 403,545 kN-m
Pu (Kombinasi ultimate)	= 3.964,727 kN
Tulangan kolom pasang	= 16 D 25



Gambar 4.91. Grafik Akibat Momen Pada Pcacolum

Reinforcement:

Rebar Database: ASTM A615

Size	Diam (mm)	Area (mm ²)	Size	Diam (mm)	Area (mm ²)	Size	Diam (mm)	Area (mm ²)
# 3	10	71	# 4	13	129	# 5	16	200
# 6	19	284	# 7	22	387	# 8	25	510
# 9	29	645	# 10	32	819	# 11	36	1006
# 14	43	1452	# 18	57	2581			

Confinement: Tied; #3 ties with #10 bars, #4 with larger bars.
 $\phi(a) = 0.8$, $\phi(b) = 0.9$, $\phi(c) = 0.65$

Layout: Rectangular
 Pattern: All Sides Equal (Cover to longitudinal reinforcement)
 Total steel area, $A_s = 8155 \text{ mm}^2$ at 1.93%
 16 #8 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

No.	P_u kN	M_{ux} kN-m	M_{uy} kN-m	f_{Mnx} kN-m	f_{Mny} kN-m	f_{Mn}/M_u
1	3946.0	126.0	403.0	130.0	415.7	1.032

*** Program completed as requested! ***

Gambar 4.92. Hasil *Output* Pada Pccolumn

Berdasarkan *output* dari PcaColumn

$$M_{ux} = 126 \text{ kN-m} < M_{nx} = 130 \text{ kN-m}$$

$$M_{uy} = 403 \text{ kN-m} < M_{ny} = 415,7 \text{ kN-m}$$

Maka perencanaan dipasang tulangan kolom sebanyak **16D25**.

Presentase tulangan terpasang :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 16 \times (1/4 \times \pi \times d^2) \\ &= 7853,98 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek persyaratan :

$$\begin{aligned} \% \text{ tulangan} &= \frac{\text{luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto penampang kolom}} \times 100\% \\ &= \frac{7853,98 \text{ mm}^2}{650 \text{ mm} \times 650 \text{ mm}} \times 100\% \\ &= 1,68\% < 8\% \quad \textbf{(OK)} \end{aligned}$$

Kesimpulan :

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh program analisis PcaColumn lebih besar dibandingkan momen ultimate perhitungan SAP 2000, maka perhitungan kebutuhan tulangan kolom memenuhi dalam artian kolom tidak mengalami keruntuhan.

- **Perhitungan tulangan geser**

Data perencanaan

H kolom	: 650 mm
B kolom	: 650 mm
Tebal selimut beton	: 40 mm
Tinggi kolom	: 4250 mm
Mutu beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 320 MPa
Diameter tulangan lentur	: 25 mm
Diameter tulangan geser	: 10 mm
Faktor reduksi	: 0,75

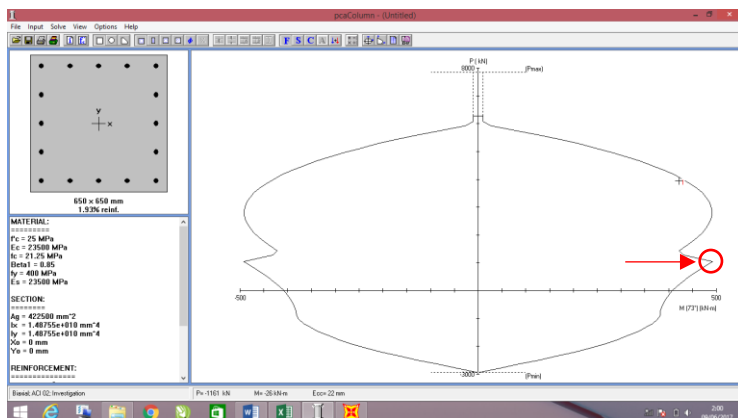
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))

Berdasarkan hasil analisis program SAP 2000, maka diperoleh beban aksial pada kolom K-1 dengan kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5Lr sebagai berikut :

$$P_u = 3946727,9 \text{ N}$$

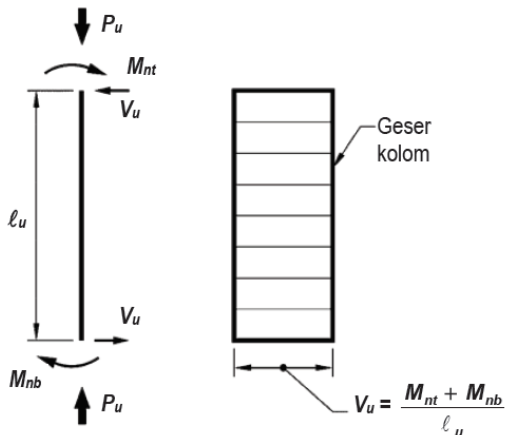
Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM

Diambil dari hasil PcaColumn sebagai berikut :



Gambar 4.93. Gaya Lintang Rencana Untuk SRPMM

$$\begin{aligned} M_{nt} &= 492000000 \text{ Nmm} \\ M_{nb} &= 492000000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$



Gambar 4.94. Lintang Rencana Untuk SRPMM

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5)

Dimana :

M_{nt} = Momen nominal atas kolom

M_{nb} = Momen nominal bawah kolom

$$\begin{aligned} M_{nt} &= \frac{M_{nt}}{\phi} \\ &= \frac{492.000.000 \text{ Nmm}}{0,75} \\ &= 656.000.000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &= \frac{M_{nb}}{\phi} \\ &= \frac{492.000.000 \text{ Nmm}}{0,75} \\ &= 656.000.000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{656.000.000 \text{ Nmm} + 656.000.000 \text{ Nmm}}{4.250 \text{ mm}} \\ V_u &= \frac{1.312.000.000 \text{ Nmm}}{4.250 \text{ mm}} \\ V_u &= 312.380,9524 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat kuat tekan beton

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa sesuai dengan peraturan SNI 03-2847-2013.

$$\sqrt{f_c'} \leq \frac{25}{3} \text{ N/mm}^2$$

$$\sqrt{25} \text{ N/mm}^2 \leq \frac{25}{3} \text{ N/mm}^2$$

$$5 \text{ N/mm}^2 \leq 8,333 \text{ N/mm}^2$$

(MEMENUHI)

Kekuatan geser pada beton :

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \lambda \sqrt{f'c'} b_w d \\
 &= 0,17 \times \left(1 + \frac{3946,73}{14 \times 422.500 \text{ mm}^2} \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 650 \times 587,5 \\
 &= 530.564,5734 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\min}} &= 1/3 \times b \times d \\
 &= 1/3 \times 650 \text{ mm} \times 587,5 \text{ mm} \\
 &= 127291,67 \text{ N} \\
 V_{s_{\max}} &= 1/3 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\
 &= 1/3 \times \sqrt{25} \times 650 \text{ mm} \times 587,5 \text{ mm} \\
 &= 636458,33 \text{ N} \\
 2 V_{s_{\max}} &= 2/3 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\
 &= 2/3 \times \sqrt{25} \times 650 \text{ mm} \times 587,5 \text{ mm} \\
 &= 1272916,67 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c \\
 312.380,9254 \text{ N} &> 198.961,715 \text{ N}
 \end{aligned}$$

(TIDAK MEMENUHI)

2. Kondisi 2 → Memerlukan tulangan geser minimum

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c &\leq V_u \leq \phi \cdot V_c \\
 198.961,715 \text{ N} &\leq 312.380,9254 \text{ N} < 397.239,43 \text{ N}
 \end{aligned}$$

(MEMENUHI)

Maka perencanaan penulangan geser kolom menggunakan kondisi 2 yaitu memerlukan tulangan minimum.

$$\begin{aligned} S_{maks} &\leq d/4 \leq 600\text{mm} \\ &\leq 146,875\text{mm} \leq 600\text{mm} \end{aligned}$$

Digunakan spasi tulangan minimum **140 mm**

Luas tulangan geser minimum

$$\begin{aligned} Av_{min} &= \frac{bw \cdot s}{3 \cdot fy} \\ Av_{min} &= \frac{650\text{mm} \cdot 140\text{mm}}{3 \cdot 320 \text{ N/mm}^2} \\ Av_{min} &= 94,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser minimum \emptyset 10 dengan 2 kaki, maka luas penampang yang diperlukan yaitu:

$$\begin{aligned} Av &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\ Av &= \frac{1}{4} \times \pi \times (10\text{mm})^2 \times 2 \\ Av &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} Av &> Av_{min} \\ 157,08 \text{ mm}^2 &> 94,8 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser kolom

- 1) Berdasarkan peraturan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.3.2 spasi (S_o) sepanjang panjang (l_o) diukur dari muka joint. Spasi (S_o) tidak boleh melebihi beberapa persyaratan sebagai berikut :

- (a) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi

$$S_o \leq 8 \times \varnothing_{\text{lentur}}$$

$$140 \text{ mm} \leq 8 \times 25 \text{ mm}$$

$$140 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

- (b) 24 kali diameter batang tulangan begel

$$S_o \leq 24 \times \varnothing_{\text{geser}}$$

$$140 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$$

$$140 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

- (c) Setengah dimensi penampang kolom terkecil

$$S_o \leq \frac{1}{2} \times b_w$$

$$140 \text{ mm} \leq \frac{1}{2} \times 400 \text{ mm}$$

$$140 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

- (d) $S_o \leq 300 \text{ mm}$

$$140 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, dan S_{pakai} menggunakan 140 mm. Maka dipakai S_o sebesar $\varnothing 10 - 140 \text{ mm}$.

Panjang L_o tidak boleh kurang dari yang terbesar diantara ketiga syarat dibawah, yaitu :

- (a) Seperenam bentang bersih kolom

$$L_o = \frac{1}{6} \times (4.250 \text{ mm} - 450 \text{ mm})$$

$$L_o = \frac{1}{6} \times 3.800 \text{ mm}$$

$$L_o = 625 \text{ mm} \quad \textbf{(MEMENUHI)}$$

- (b) Dimensi terbesar penampang kolom

$$L_o = 650 \text{ mm}$$

- (c) $L_o > 450 \text{ mm}$

- 2) Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0,5 \times S_o = 0,5 \times 140 \text{ mm} = 70 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok-kolom.
- 3) Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 \times S_o = 2 \times 140 \text{ mm} = 280 \text{ mm}$

Sehingga dipasang sengkang sebesar $\varnothing 10 - 140 \text{ mm}$ sejarak 650 mm dari muka hubungan balok-kolom.

Perhitungan sambungan lewatan tulangan vertikal kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.16.1, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0,071 \times f_y \times d_b$, untuk $f_y = 400 \text{ MPa}$ atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$\begin{array}{ll}
 0,071 \times f_y \times d_b & \geq 300 \text{ mm} \\
 0,071 \times 400 \text{ MPa} \times 25 \text{ mm} & \geq 300 \text{ mm} \\
 710 \text{ mm} & \geq 300 \text{ mm} \text{ (MEMENUHI)}
 \end{array}$$

Perhitungan panjang penyaluran tulangan kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.3, panjang penyaluran untuk tulangan D25 harus ditentukan menggunakan persamaan :

$$\frac{ld}{db} = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right)$$

Keterangan :

Ψ_t = Bila tulangan horizontal dipasang sehingga lebih dari 300 mm beton segar dicor di bawah panjang

penyaluran atau sambungan, $\Psi_t = 1,3$. Untuk situasi lainnya, $\Psi_t = 1,0$.

Ψ_e = Untuk batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi dengan selimut kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$, $\Psi_t = 1,5$. Untuk semua batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi lainnya, $\Psi_e = 1,2$. Untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (di galvanis), $\Psi_t = 1,0$.

Akan tetapi, hasil $\Psi_t \Psi_e$ tidak perlu lebih besar dari 1,7

Ψ_s = Untuk batang tulangan atau kawat ulir D19 atau yang lebih kecil, $\Psi_t = 0,8$. Untuk batang tulangan D22 dan yang lebih besar, $\Psi_t = 1,0$.

λ = Bila beton ringan digunakan, λ tidak boleh melebihi **0,75** kecuali jika f_{ct} ditetapkan. Bila berat beton normal digunakan, $\lambda = 1,0$.

Maka,

$$\frac{ld}{db} = \left(\frac{400}{1,1 \cdot 1,1 \cdot \sqrt{25}} \frac{1,1 \cdot 1}{\left(\frac{46}{25}\right)} \right)$$

$$\frac{ld}{db} = 39,52569$$

$$ld = 39,52569 \times 25mm$$

$$ld = 988,142mm \approx 1000mm$$

4.5. Perhitungan Volume Pembesian

Berikut ini akan dibahas perhitungan volume kebutuhan pembesian untuk portal yang ditinjau yaitu 1 portal melintang dan 1 portal memanjang. Perhitungan volume pembesian meliputi 2 elemen yang ditinjau yaitu balok dan kolom.

Perhitungan volume pembesian balok digolongkan berdasarkan dimensi elemen struktur, bentang elemen struktur dan diameter tulangan yang digunakan.

Sedangkan volume pembesian kolom dihitung berdasarkan tipe kolom, dimensi kolom, dan diameter tulangan yang digunakan.

Hasil akhir dari perhitungan volume pembesian adalah berupa kebutuhan panjang tulangan yang diperlukan, jumlah lonjor dan berat besi yang ditinjau per diameter yang digunakan.

Contoh perhitungan:

1) Portal Melintang

Balok

Perhitungan volume pembesian balok induk melintang 45/70 dengan bentang 10 m.

Data balok:

Tipe	Dimensi (m)		L	Jumlah Balok
	b	h	(m)	
BI Mel 2	0,45	0,7	10	1

Panjang wilayah :

Panjang tumpuan = $L/4$

$$= 10 \text{ m}/4 = 2,5 \text{ m}$$

Panjang lapangan = $L/2$

$$= 10 \text{ m}/2 = 5 \text{ m}$$

Untuk menghitung jumlah dan panjang tulangan geser yang digunakan disetiap wilayah adalah:

Tumpuan (Ø12-90 mm)

$$\begin{aligned}\text{Banyak tulangan} &= L_{\text{TUMP}}/s \\ &= 2,5 \text{ m}/0,09 \text{ m} = 27,78 \text{ buah}\end{aligned}$$

Lapangan (Ø12-120 mm)

$$\begin{aligned}\text{Banyak tulangan} &= L_{\text{LAP}}/s \\ &= 5 \text{ m}/0,12 \text{ m} = 41,67 \text{ buah}\end{aligned}$$

Panjang 1 tulangan :

$$\begin{aligned}&= 2((b-2t_{\text{decking}})+(h-2t_{\text{decking}})) + 2(6d_b) \\ &= 2((0,45 \text{ m} - (2,0,04 \text{ m}))+(0,7 \text{ m} - (2,0,4 \text{ m}))+ (2,0,012 \text{ m})) \\ &= 2,124 \text{ m}\end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan:

KET	Diameter	Jumlah		
		Tump	Lapangan	Tump
Tul. atas	25	8	2	8
Tul bawah	25	3	4	3
Tul sisi	16	4	4	4
Senggang	12	27,78	41,67	27,78

Menghitung panjang tulangan yang digunakan dengan cara:

- Tul lentur & puntir = Jumlah tulangan x panjang wilayah
- Tul sengkang = Jumlah tulangan x panjang 1 tul.

Maka didapatkan:

KET	Diameter	Panjang tulangan (m)		
		Tump	Lapangan	Tump
Tul. atas	25	20	10	20
Tul bawah	25	7,5	20	7,5
Tul sisi	16	10	20	10
Senggang	12	59	88,5	59

Menghitung panjang overstek tulangan:

$$= 12d_b \times \text{jumlah tul tak menerus}$$

KET	Diameter	Panjang overstek tulangan (m)			
		Tump	Lapangan	Tump	Over
Tul. atas	25	1,8		1,8	8
Tul bawah	25		0,6		3
Tul sisi	16				2,56
Senggang	12				

Total panjang tulangan dan berat tulangan:

Keterangan berat besi tulangan dari tabel yang dijelaskan pada bab 3:

$$D25 = 3,853 \text{ kg/m}$$

$$D16 = 2,223 \text{ kg/m}$$

$$\emptyset 12 = 0,888 \text{ kg/m}$$

KET	Total Panjang (m)			Total berat/m (kg)		
	D25	D16	Ø12	D25	D16	Ø12
Tul. atas	61,6			237,34		
Tul bawah	38,6			148,73		
Tul sisi		42,56			67,16	
Senggang			206,5			183,79

Dari perhitungan diatas didapatkan kebutuhan besi untuk balok induk melintang lantai 2 dengan bentang 10 m adalah:

D_b	Panjang	Berat	Lonjor
	(m)	(kg)	(buah)
25	100,2	386,07	9
16	42,56	67,16	4
12	206,5	183,79	18
TOTAL	349,26	637,02	

Dari perhitungan diatas didapatkan kebutuhan tulangan untuk balok induk melintang lantai 2 adalah:

D25 = 9 lonjor
 D16 = 4 lonjor
 Ø12 = 18 lonjor

Dengan perhitungan seperti diatas digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan pada balok lain dalam satu portal melintang, didapatkan:

D_b	Panjang	Berat	Lonjor
	(m)	(kg)	(buah)
25	1618,20	6234,92	135
16	912,96	2029,51	77
19	652,80	1030,12	55
12	5635,42	5015,53	470
TOTAL	8819,38	14310,08	

Kolom

Perhitungan volume pembesian kolom dihitung berdasarkan tinggi tiap kolom. Panjang tulangan utama kolom dihitung dari sambungan ke sambungan antar tulangan.

Contoh perhitungan diambil dari kolom pada portal melintang.

Lt.	Tinggi	Jumlah kolom	Tulangan utama			Pjg tul
			Db	Jumlah	Panjang	
	(m)		(mm)		(m)	(m)
Atap	3,8	6	25	8	3	144
					3,8	182,4
4	3,8	6	25	8	3,825	275,4
3	3,85	6	25	12	4,05	388,8
2	4,2	6	25	16	2,28	218,4
dasar	0,5					

Panjang wilayah :

Contph perhitungan panjang wilayah pada kolom lantai 4 dengan dimensi 55/55 dan tinggi 3,8 m.

$$\begin{aligned}\text{Panjang tumpuan} &= L/4 \\ &= 3,8 \text{ m}/4 = 0,95 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Panjang lapangan} &= L/2 \\ &= 3,8 \text{ m}/2 = 1,9 \text{ m}\end{aligned}$$

Untuk menghitung jumlah dan panjang tulangan geser yang digunakan disetiap wilayah adalah:

Tumpuan (Ø10-120 mm)

$$\begin{aligned}\text{Banyak tulangan} &= L_{\text{TUMP}}/s \\ &= 0,95 \text{ m}/0,12 \text{ m} = 8 \text{ buah}\end{aligned}$$

Karena untuk perhitungan tumpuan atas = tumpuan bawah, maka jumlah tulangan dikalikan 2, yaitu 16 buah.

Lapangan (Ø12-120 mm)

$$\begin{aligned}\text{Banyak tulangan} &= L_{LAP}/s \\ &= 1,9 \text{ m}/0,12 \text{ m} = 16 \text{ buah}\end{aligned}$$

Panjang 1 tulangan :

$$\begin{aligned}&= 4((b-2t_{\text{decking}})) + 2(6d_b) \\ &= 4((0,55 \text{ m} - (2 \cdot 0,04 \text{ m})) + (2 \cdot 0,010 \text{ m})) \\ &= 2,18 \text{ m}\end{aligned}$$

Lt.	Tinggi	Jml kolom	Tulangan sengkang						Pjg tul
			Db	Jrk tump	Jrk lap	Jml tump	Jml lap	Pjg	
	(m)		(mm)	(m)	(m)			(m)	(m)
Atap	3,8	6	10	0,12	0,12	16	16	2,18	414,2
4	3,8	6	10	0,12	0,12	16	16	2,18	414,2
3	3,85	6	10	0,12	0,12	16	16	2,18	419,65
2	4,2	6	10	0,15	0,15	14	14	2,58	433,44

Menghitung kebutuhan lonjor tulangan berdasarkan panjang tulangan yang diperlukan.

$$\text{Jumlah lonjor} = \text{Panjang tulangan} : 12$$

Karena panjang 1 lonjor tulangan = 12 m

Lt.	Tulangan utama			Tulangan sengkang		
	Db	Pjg	Lonjor	Db	Pjg	Lonjor
	(mm)	(m)	(buah)	(mm)	(m)	(buah)
Atap	25	144	12	10	414,2	34,52
		182,4	15,2			
4	25			10	414,2	34,52
		275,4	22,95			
3	25			10	419,65	34,971
		388,8	32,4			
2	25			10	433,44	36,12
		218,4	18,2			
Dasar						
TOTAL			100,75	TOTAL		140,12

Dari data diatas didapatkan kebutuhan tulangan kolom untuk portal melintang yang ditinjau:

D25 = 101 lonjor

Ø10 = 141 lonjor

Perhitungan berat kebutunhan tulangan.

Keterangan berat besi tulangan dari tabel yang dijelaskan pada bab 3:

D25 = 3,853 kg/m

Ø10 = 0,617 kg/m

Lt.	Tulangan utama			Tulangan sengkang		
	Db	Pjg	Berat	Db	Pjg	Berat
	(mm)	(m)	(kg)	(mm)	(m)	(kg)
Atap	25	144	554,83	10	414,2	255,56
		182,4	702,79			
4	25	275,4	1061,1	10	414,2	255,56
		388,8	1498			
3	25	218,4	841,5	10	433,44	267,43
2	25					
Dasar						
TOTAL			4658,28	TOTAL		1037,48

Dari perhitungan diatas didapatkan kebutuhan besi untuk kolom pada portal melintang adalah:

Db	Panjang	Berat	Lonjor
	(m)	(kg)	(buah)
25	1209	4658,28	101
10	1681,49	1037,48	141

Dari perhitungan kebutuhan tulangan untuk balok dan kolom pada portal melintang diatas, didapatkan jumlah berat tulangan dan kebutuhan lonjor pada satu portal melintang serta rasio penulangan untuk elemen balok dan kolom terhadap volume cor beton:

Total kebutuhan dan berat besi tulangan untuk elemen balok dan kolom pada satu portal melintang:

D_b	Panjang	Berat	Lonjor
	(m)	(kg)	(buah)
25	2827,20	10.893,20	236
16	912,96	2029,51	77
19	652,80	1030,12	55
12	5635,42	5015,53	470
10	1681,49	1037,48	141
TOTAL	11.079,87	20.005,84	

Rasio penulangan balok dan kolom portal melintang terhadap beton:

Lt.	Elemen	L	Jmlh	Vol. cor	Berat besi	Rasio
		(m)		(m³)	(kg)	(kg/m³)
1	B1 45/70	6	2	3,78	425,20	112,49
	B2 45/70	9	2	5,67	625,86	110,38
	B3 45/70	10	1	3,15	358,32	113,75
	K1 mel 65/65	4,2	6	10,65	1437,20	134,99
2	BA2-1 30/45	6	2	1,62	287,28	177,33
	BA2-2 30/45	9	2	2,43	423,48	174,27
	BA2-3 30/45	10	1	1,35	241,88	179,17
	BI2-1 45/70	6	2	3,78	751,90	198,91

	BI2-2 45/70	9	2	5,67	1096,54	193,39
	BI2-3 45/70	10	1	3,15	637,02	202,23
	K2 mel 55/55	3,85	6	6,99	1538,51	220,17
3	BA3-1 30/45	6	2	1,62	287,28	177,33
	BA3-2 30/45	9	2	2,43	423,48	174,27
	BA3-3 30/45	10	1	1,35	241,88	179,17
	BI3-1 45/70	6	2	3,78	747,86	197,85
	BI3-2 45/70	9	2	5,67	1092,50	192,68
	BI3-3 45/70	10	1	3,15	632,98	200,94
	K3 mel 55/55	3,8	6	6,90	1137,51	164,93
4	BA4-1 30/45	6	2	1,62	287,28	177,33
	BA4-2 30/45	9	2	2,43	423,48	174,27
	BA4-3 30/45	10	1	1,35	241,88	179,17
	BI4-1 45/70	6	2	3,78	722,43	191,12
	BI4-2 45/70	9	2	5,67	1055,51	186,16
	BI4-3 45/70	10	1	3,15	611,40	194,09
	K4 mel 55/55	3,8	6	6,90	1161,79	168,45

Atap	BA5-1 30/45	6	2	1,62	255,19	157,53
	BA5-2 30/45	9	2	2,43	378,06	155,58
	BA5-3 30/45	10	1	1,35	214,24	158,70
	BI5-1 45/70	6	2	3,78	558,93	147,86
	BI5-2 45/70	9	2	5,67	820,57	144,72
	BI5-3 45/70	10	1	3,15	467,67	148,47
TOTAL RASIO MELINTANG						167,10

Rekapitulasi rasio penulangan balok dan kolom portal melintang terhadap beton yang ditinjau perlantai adalah:

Lantai	Berat tulangan perlantai	Volume cor perlantai	Rasio
	(kg)	(m ³)	(kg/m ³)
1	2846,58	23,25	122,45
2	4976,60	24,99	199,16
3	4563,48	24,90	183,29
4	4503,76	24,90	180,90
Atap	2694,67	18,00	149,70
TOTAL RASIO MELINTANG			167,10

2) Portal memanjang

Dengan perhitungan yang sama seperti perhitungan portal melintang, didapatkan jumlah berat tulangan dan kebutuhan lonjor pada satu portal melintang serta rasio penulangan

untuk elemen balok dan kolom terhadap volume cor beton pada portal memanjang:

Total kebutuhan dan berat besi tulangan untuk elemen balok dan kolom pada satu portal memanjang:

D_b	Panjang	Berat	Lonjor
	(m)	(kg)	(buah)
25	2463,70	9492,64	206
16	884,02	1965,17	74
19	480,00	757,44	40
12	5660,27	5037,64	472
10	1401,24	864,57	117
TOTAL	10.889,22	18.117,45	

Rasio penulangan balok dan kolom portal memanjang terhadap beton:

Lt.	Elemen	L	Jmlh	Vol. cor	Berat besi	Rasio
		(m)		(m³)	(kg)	(kg/m³)
1	B4 45/70	8	5	12,60	1361,60	108,0632
	K1 mem 65/65	4,2	5	8,87	1197,67	134,9867
2	BA2-4 30/45	8	5	5,40	875,74	162,1735
	BI2-4 45/70	8	5	12,60	1793,31	142,3262
	K2 mem 55/55	3,85	5	5,82	1282,09	220,1718
3	BA3-4 30/45	8	5	5,40	1221,53	226,2091
	BI3-4 45/70	8	5	12,60	2356,21	187,0004

	K3 mem 55/55	3,8	5	5,75	947,93	164,9287
4	BA4-4 30/45	8	5	5,40	968,37	179,3284
	BI4-4 45/70	8	5	12,60	2272,98	180,3953
	K4 mem 55/55	3,8	5	5,75	968,16	168,4482
Atap	BA5-4 30/45	8	5	5,40	828,57	153,4395
	BI5-4 45/70	8	5	12,60	1692,68	134,3395
TOTAL RASIO MEMANJANG						188,13

Rekapitulasi rasio penulangan balok dan kolom portal melintang terhadap beton yang ditinjau per lantai adalah:

Lantai	Berat tulangan perlantai	Volume cor perlantai	Rasio
	(kg)	(m ³)	(kg/m ³)
1	2559,27	21,47	119,19
2	3951,13	23,82	165,85
3	4525,66	23,75	190,57
4	4209,51	23,75	177,26
Atap	2521,25	18,00	287,78
TOTAL RASIO MEMANJANG			188,13

4.6. Metode Pelaksanaan

Pada Sub-bab ini akan dijelaskan tahapan-tahapan pelaksanaan pekerjaan kolom pada proyek pembangunan gedung Rumah Sakit Ibu dan Anak Blitar, Jawa Timur ini. Pada proyek pembangunan gedung rumah sakit tersebut, digunakan 4 tipe kolom dengan dimensi berbeda sesuai dengan fungsinya. Kolom yang akan ditinjau pada sub-bab ini adalah kolom utama struktur gedung rumah sakit tersebut.

Adapun alat-alat yang digunakan dalam pelaksanaan pekerjaan kolom ini adalah sebagai berikut:

1. *Tower Crane*

Pada prinsipnya, tower crane merupakan pesawat pengangkat dan pengangkut yang memiliki mekanisme gerakan yang cukup lengkap, yakni : kemampuan mengangkat muatan (*lifting*) menggeser (*trolleying*), menahannya tetap di atas bila diperlukan dan membawa muatan ke tempat yang ditentukan (*slewing* dan *travelling*).



Gambar 4.95. Tower Crane

2. *Bar Cutter*

Bar cutter adalah mesin yang digunakan untuk memotong besi tulangan sesuai ukuran yang diperlukan. Cara kerja *bar cutter* adalah besi tulangan yang akan dipotong dimasukkan kedalam gigi *bar cutter*, kemudian pedal pengendali dipijak, dan dalam hitungan detik baja tulangan akan terpotong. Pemotongan untuk baja tulangan yang mempunyai diameter besar dilakukan satu persatu. Sedangkan untuk baja yang diameternya lebih kecil, pemotongan dapat dilakukan beberapa buah sekaligus sesuai dengan kapasitas dari alat.



Gambar 4.96. *Bar Cutter*

3. *Bar Bender*

Bar bender adalah alat yang digunakan untuk membengkokkan baja tulangan dalam berbagai macam sudut sesuai dengan perencanaan. Bar bender adalah alat / mesin yang di gunakan untuk menekuk besi ulir / beton dengan diameter yang sesuai dengan kapasitas mesin. Cara kerja *bar bender* adalah baja yang akan dibengkokkan dimasukkan di antara poros tekan dan poros pembengkok kemudian diatur sudutnya sesuai

dengan sudut bengkok yang diinginkan dan panjang pembengkokkannya. Ujung tulangan pada poros pembengkok dipegang dengan kunci pembengkok. Kemudian pedal ditekan sehingga roda pembengkok akan berputar sesuai dengan sudut dan pembengkokkan yang diinginkan. Bar bender dapat mengatur sudut pembengkokan tulangan dengan mudah dan rapi.



Gambar 4.97. Bar Bender

4. *Concrete Bucket* dan *Pipa Tremie*

Concrete bucket adalah tempat pengangkutan beton dari truk *mixer* sampai ke tempat pengecoran. Setelah dilakukan *slump test* dan telah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan, maka beton dari truk *mixer* dituangkan kedalam *concrete bucket*, kemudian pengangkutan menuju lokasi pengecoran dilakukan dengan bantuan *tower crane*.

Sedangkan pipa *tremie* adalah pipa yang digunakan untuk mengatur tinggi jatuh beton pada saat pengecoran. Pipa *tremie* dipasang pada ujung bawah *concrete bucket* sehingga beton yang keluar dari *concrete bucket* tidak langsung jatuh dan menumbuk lokasi pengecoran.



Gambar 4.98. Concrete Bucket dan Pipa Tremie

Secara garis besar, langkah teknis pekerjaan kolom terdiri dari beberapa kegiatan antara lain penentuan as kolom, penulangan kolom, pembuatan dan pemasangan bekisting kolom, pengecoran kolom, pembongkaran bekisting kolom dan perawatan kolom, yang selanjutnya akan dijelaskan dengan rinci sebagai berikut.

1) Penentuan as kolom

Titik-titik dari as kolom diperoleh dari hasil pengukuran dan pematokan yang disesuaikan dengan *shop drawing*. Cara menentukan as kolom adalah diukur dengan menggunakan alat *theodolit* dan *waterpass* dengan menggunakan acuan dari titik *Bench Mark*.

2) Penulangan kolom

Proses pekerjaan pembesian atau penulangan kolom ini meliputi pembuatan dan pemasangan penulangan. Proses pembuatan atau perakitan tulangan ini dilakukan di *workshop* pembesian (tulangan *pre-cast*) lalu dipasang pada titik kolom yang telah direncanakan sebelumnya dengan diangkat menggunakan *tower crane*.

Pembuatan dan perakitan pembesian kolom berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya dan harus sesuai dengan gambar kerja yang ada. Perakitan tulangan kolom diawali dengan pemasangan tulangan utama kolom sesuai

jumlah, panjang dan diameter yang direncanakan. Selanjutnya pemasangan sengkang sesuai dengan jumlah dan jaraknya. Pada setiap pertemuan antara tulangan utama dan sengkang diikat menggunakan kawat beton dengan sistem silang.

Setelah tulangan selesai dirakit, rakitan tulangan tersebut diangkat menggunakan *tower crane* untuk kemudian ditempatkan pada posisi penyambungan antar kolom.

Pengangkatan tulangan kolom dilakukan dengan menyelipkan tulangan diantara sengkang kemudian *sling tower crane* diikatkan pada tulangan tersebut.



Gambar 4.99. Pengangkatan Penulangan dengan Menggunakan *Tower Crane*

Instalasi kolom harus dilakukan dengan benar sehingga tidak terjadi pergeseran posisi kolom yang kemudian akan menyebabkan terjadinya eksentrisitas pada kolom. Untuk itu pemasangan tulangan kolom harus selalu diiringi dengan pekerjaan pengukuran (*iutzet*) untuk memastikan pekerjaan

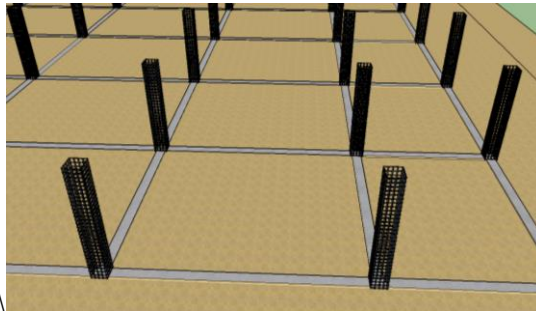
instalasi tulangan kolom telah dilakukan sesuai dengan gambar rencana.



Gambar 4.100. Pemasangan Tulangan Kolom

Setelah besi terpasang pada posisinya dan sudah cukup kaku, lalu dipasang beton *decking* sesuai ketentuan yang disyaratkan. Dalam pembuatannya, diisikan kawat bendrat pada bagian tengah beton yang nantinya dipakai sebagai pengikat pada tulangan.

Beton *decking* ini berfungsi sebagai selimut beton untuk menjaga agar tulangan sesuai dengan posisi yang diinginkan. Selain itu, selimut beton juga menjaga agar tulangan pada beton tidak berkarat (korosi).



Gambar 4.101. Penulangan Kolom

3) Pembuatan dan pemasangan bekisting kolom

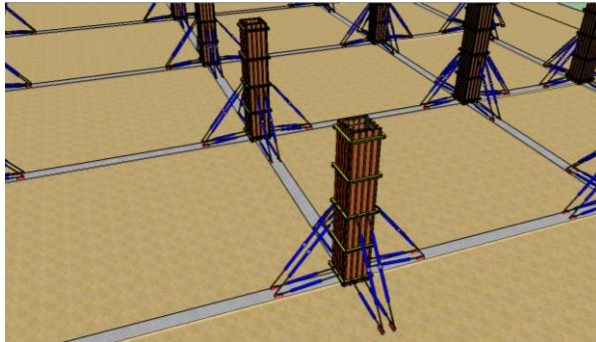
Pemasangan bekisting kolom dilaksanakan apabila pelaksanaan pembesian tulangan telah selesai dilaksanakan. Namun untuk proses pembuatannya bisa dilakukan bersamaan dengan pekerjaan pembesian.

Pada proyek pembangunan struktur gedung rumah sakit ini, digunakan bekisting konvensional yang terdiri dari papan kayu kelas II, plywood dengan tebal 12 mm, balok kayu kelas II dan kayu dolken Ø8-10.

Setelah tulangan kolom dipasang dan bekisting telah selesai dibuat, maka langkah selanjutnya yaitu pemasangan bekisting. Bekisting diangkat dengan bantuan alat *tower crane*.



Gambar 4.102. Pengangkatan dan Pemasangan Bekisting dengan *Tower Crane*



Gambar 4.103. Bekisting Kolom

4) Pengecoran kolom

Pelaksanaan pengecoran beton dilakukan setelah pemasangan bekisting dan tulangan selesai, dalam hal ini pelaksanaan pengecoran dilakukan serentak untuk semua kolom pada ketinggian yang sama sehingga akan mempercepat waktu, dimana pengecoran dimulai dari kolom 1 dan dilanjut ke kolom berikutnya.

Penuangan spesi beton ke kolom beton dengan menggunakan *concrete bucket* dan pipa *tremie*. Dalam pelaksanaan ini digunakan beton jadi (*Ready mix*) dengan $f_c' 25 \text{ MPa}$.

Sebelum pelaksanaan pengecoran, dilakukan hal-hal sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat-alat pendukung dilapangan seperti vibrator, pipa penyalur beton, air compressor, lampu penerangan jika pengecoran dilakukan malam hari.
2. Sebelum adukan beton dimasukkan kedalam pompa, dilakukan pengambilan benda uji silinder dan *slump test* dari truk *mixer*. Jika tidak memenuhi syarat yaitu $12 \pm 2 \text{ cm}$ maka adukan beton ditolak.

3. Untuk setiap campuran percobaan, paling sedikit dua silinder 150 kali 300 mm atau tiga silinder 100 kali 200 mm harus dibuat dan dirawat sesuai dengan ASTM C192M. Silinder harus diuji pada umur 28 hari atau pada umur uji yang ditetapkan untuk f_c' .

(SNI 2847-2013 Pasal 5.3.3.2)



Gambar 4.104. Slump Test beton



Gambar 4.105. Benda Uji Silinder

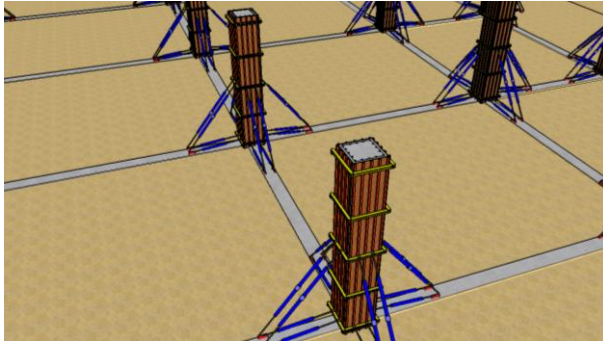
4. Memeriksa jumlah, letak, jarak antara panjang penyaluran, panjang penjangkaran, diameter tulangan, beton decking

yang harus sesuai dengan gambar rencana. Diperiksa pula posisi bekisting agar cukup kokoh menahan beban.

5. Membersihkan bekisting dan tulangan dari segala jenis sampah dan kotoran dengan kompresor, kemudian dilapisi dengan *mud oil*.
6. Lubang-lubang untuk instalasi listrik, air dan lain-lain harus terpasang dengan baik. Setelah hal-hal tersebut diatas telah dilaksanakan maka pengecoran dapat dilaksanakan.
7. Menuangkan spesi beton kedalam bekisting kolom dengan *concrete bucket* dengan dibantu tenaga pengecor yang berdiri diatas bekisting kolom. Untuk pemadatan beton digunakan *concrete vibrator* pada saat pengecoran berlangsung.



Gambar 4.106. Proses Pengecoran Beton dengan Menggunakan *Bucket*

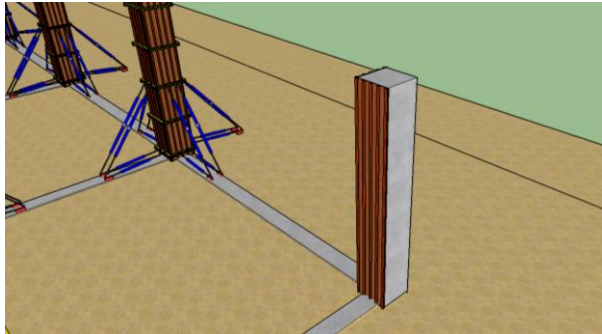


Gambar 4.107. Animasi Pengecoran Kolom

5) Pembongkaran bekisting kolom

Proses pembongkaran bekisting kolom dilakukan setelah beton dianggap mengeras. Pembongkaran bekisting kolom dilakukan setelah $\pm 8-24$ jam dari pengecoran terakhir dengan tenaga orang (berbeda-beda tergantung pada *setting time* beton, setiap *mix design* yang dibuat juga berbeda tergantung dari bahan *admixture* yang digunakan). Jika pembongkaran dilakukan sebelum waktu *setting time* yang disyaratkan, maka akan terjadi kerusakan/cacat pada beton tersebut. Upaya dalam mencegah kerusakan yang terjadi yaitu dilakukan pembongkaran setelah *setting time* yang disyaratkan, agar beton dapat mengeras terlebih dahulu.

Bekisting yang telah dilepas tersebut diangkat dengan bantuan *tower crane* dan dibersihkan bagian permukaan dalamnya serta diolesi pelumas untuk kemudian dipasang pada kolom berikutnya.



Gambar 4.108. Pembongkaran Bekisting Kolom

6) Perawatan beton kolom

Setelah pembongkaran bekisting, harus dilakukan perawatan beton (*curing*), yaitu dengan pemberian *compound* pada permukaan beton atau dengan berbagai cara sesuai dengan jenis struktur yang dilaksanakan.

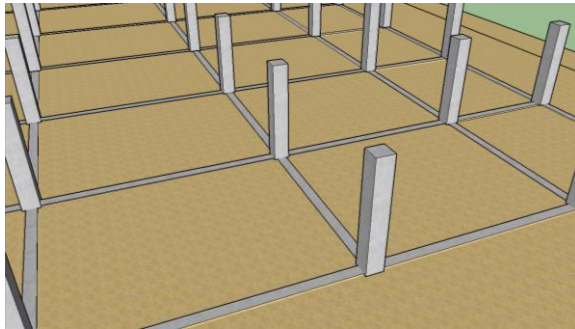
Perawatan beton (*curing*) berfungsi untuk melindungi beton selama berlangsungnya proses pengerasan beton terhadap sinar matahari, pengeringan oleh angin, hujan atau aliran air dan kerusakan secara mekanis atau pengeringan sebelum waktunya.

Perawatan beton dilakukan untuk menghindari :

1. Kehilangan banyak air pada proses awal pengerasan beton yang akan mempengaruhi proses pengikatan awal beton.
2. Penguapan air dari beton pada saat pengerasan beton pada hari pertama.
3. Perbedaan temperatur dalam beton, yang akan mengakibatkan retak-retak pada beton.



Gambar 4.109. Perawatan Beton Kolom (*curing*)



Gambar 4.110. Pasca Pengecoran Kolom

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam perencanaan struktur gedung Rumah Sakit Ibu dan Anak ini terdapat beberapa perubahan yaitu:
 - Jumlah lantai direncanakan menjadi 4 lantai dari jumlah awal 3 lantai.
 - Rangka atap bangunan dirubah menjadi rangka atap beton dari yang awalnya adalah rangka atap baja.
 - Letak ruang disejajarkan dengan posisi kolom.
 - Perubahan denah dan letak ruangan.
2. Perencanaan struktur gedung Rumah Sakit Ibu dan Anak dengan kategori resiko IV dan kelas situs SD termasuk kedalam kategori desain seismik C dapat dirancang dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
3. Dari seluruh pembahasan perhitungan struktur gedung Rumah Sakit Ibu dan Anak Blitar, Jawa Timur, yang telah diuraikan dapat diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:
 - Komponen pelat
Pelat lantai
Perencanaan dimensi pelat lantai beton bertulang dengan tebal $t = 12$ cm.

Perencanaan penulangan pelat lantai:

PELAT LANTAI							
Tipe	L_y	L_x	L_y/L_x	Tumpuan		Lapangan	
	(m)	(m)		X	Y	X	Y
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	6	4	1,5	10-200	10-240	10-200	10-240
2	4,5	4	1,1	10-180	10-200	10-200	10-240
3	4,5	4	1,1	10-200	10-240	10-200	10-240
4	4,5	4	1,1	10-200	10-200	10-200	10-240
5	6	4	1,5	10-200	10-240	10-200	10-240
6	4,5	4	1,1	10-200	10-240	10-200	10-240
7	4	2,775	1,4	10-200	10-240	10-200	10-240
8	4	3,4	1,2	10-200	10-240	10-200	10-240
9	4	3,825	1,0	10-200	10-240	10-200	10-240
10	6	4	1,5	10-200	10-240	10-200	10-240
11	4	2,775	1,4	10-200	10-240	10-200	10-240
12	4	3,4	1,2	10-200	10-240	10-200	10-240
13	4	3,825	1,0	10-200	10-240	10-200	10-240
14	6	5,25	1,1	10-180	10-180	10-200	10-240

Pelat atap

Perencanaan dimensi pelat atap beton bertulang dengan tebal $t = 10$ cm.

Perencanaan penulangan pelat atap:

Tipe	L_y	L_x	L_y/L_x	Tumpuan		Lapangan	
				X	Y	X	Y
	(m)	(m)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	6	4	1,5	10-200	10-240	10-200	10-240
2	4,5	4	1,1	10-200	10-240	10-200	10-240
3	4	2,775	1,4	10-200	10-240	10-200	10-240
4	4	3,4	1,2	10-200	10-240	10-200	10-240
5	4	3,825	1,0	10-200	10-240	10-200	10-240
6	6	5,25	1,1	10-180	10-180	10-200	10-240
7	4,125	4	1,0	10-200	10-240	10-200	10-240

- Komponen tangga

Tangga utama

Perencanaan dimensi pelat tangga utama dengan tebal $t = 20$ cm dan pelat bordes tangga utama dengan tebal $t = 15$ cm. Perencanaan penulangan tangga utama:

Pelat Tangga	Arah X	Ø 10 - 120 mm
	Arah Y	Ø 12 - 120 mm
	Susut	Ø 10 - 200 mm
Pelat Bordes	Arah X	Ø 10 - 150 mm
	Arah Y	Ø 10 - 150 mm

Tangga darurat

Perencanaan dimensi pelat tangga darurat dengan tebal $t = 20$ cm dan pelat bordes tangga darurat dengan tebal $t = 15$ cm.

Perencanaan penulangan tangga darurat:

Pelat Tangga	Arah X	Ø 12 - 120 mm
	Arah Y	Ø 12 - 150 mm
	Susut	Ø 10 - 200 mm
Pelat Bordes	Arah X	Ø 12 - 80 mm
	Arah Y	Ø 12 - 150 mm

- Komponen balok

Perencanaan dimensi:

Balok bordes = 30/45

Balok anak = 30/45
 Balok induk = 45/70
 Sloof = 45/70
 Balok lift = 45/70

Perencanaan penulangan balok:

Tipe Balok	Tul. Torsi	Tul. Lentur				Tul. Geser	
		Tumpuan		Lapangan		Tump	Lap
		Tarik	Tekan	Tarik	Tekan		
BB1	-	3D16	2D16	3D16	2D16	Ø10-90	Ø10-120
BB2	2D13	3D16	2D16	3D16	2D16	Ø14-100	Ø14-120
BA _{mel2}	-	5D19	2D19	2D19	2D19	Ø12-90	Ø12-150
BA _{mel3}	-	5D19	2D19	2D19	2D19	Ø12-90	Ø12-150
BA _{mel4}	-	5D19	2D19	2D19	2D19	Ø12-90	Ø12-150
BA _{melatp}	-	3D19	2D19	2D19	2D19	Ø12-90	Ø12-150
BA _{mem2}	-	4D19	2D19	2D19	2D19	Ø12-90	Ø12-150
BA _{mem3}	-	5D19	2D19	3D19	2D19	Ø12-90	Ø12-150
BA _{mem4}	-	5D19	2D19	3D19	2D19	Ø12-90	Ø12-150
BA _{mematp}	-	3D19	2D19	2D19	2D19	Ø12-90	Ø12-150
BI _{mel2}	4D16	8D25	3D25	4D25	2D25	Ø12-90	Ø12-120

BI _{mel3}	4D16	8D25	3D25	4D25	2D25	Ø12-90	Ø12-120
BI _{mel4}	4D16	8D25	3D25	3D25	2D25	Ø12-90	Ø12-120
BI _{melatp}	4D16	4D25	3D25	3D25	2D25	Ø12-120	Ø12-150
BI _{mem2}	4D16	8D25	3D25	3D25	2D25	Ø12-150	Ø12-150
BI _{mem3}	4D16	8D25	3D25	4D25	2D25	Ø12-90	Ø12-120
BI _{mem4}	4D16	7D25	3D25	4D25	2D25	Ø12-90	Ø12-120
BI _{mematp}	4D16	3D25	3D25	3D25	2D25	Ø12-120	Ø12-150
Sloof _{mel}	4D16	3D25	2D25	3D25	2D25	Ø12-120	Ø12-150
Sloof _{mem}	4D16	3D25	2D25	3D25	2D25	Ø12-120	Ø12-150
Blk lift	4D16	4D19	2D19	4D19	2D19	Ø12-150	Ø12-150

- Komponen kolom

Lantai	Tinggi	Dimensi	Tul. Lentur	Tul. Geser
	(cm)	(cm)		
1	420	65/65	16D25	Ø10-140
2	385	55/55	12D25	Ø10-120
3	380	55/55	8D25	Ø10-120
4	380	55/55	8D25	Ø10-120

4. Berdasarkan perhitungan volume kebutuhan tulangan balok dan kolom untuk 2 portal yang ditinjau, didapatkan hasil kebutuhan:

Db	Melintang	Memanjang
	(lonjor)	(lonjor)
D25	236	206
D19	77	74
D16	55	40
Ø12	470	472
Ø10	141	117

Dengan rasio perlantai untuk tiap portal:

Lantai	Berat tulangan perlantai	Volume cor perlantai	Rasio
	(kg)	(m³)	(kg/m³)
1	2846,58	23,25	122,45
2	4976,60	24,99	199,16
3	4563,48	24,90	183,29
4	4503,76	24,90	180,90
Atap	2694,67	18,00	149,70
TOTAL RASIO MELINTANG			167,10

Lantai	Berat tulangan perlantai	Volume cor perlantai	Rasio
	(kg)	(m³)	(kg/m³)
1	2559,27	21,47	119,19
2	3951,13	23,82	165,85
3	4525,66	23,75	190,57
4	4209,51	23,75	177,26
Atap	2521,25	18,00	287,78
TOTAL RASIO MEMANJANG			188,13

5. Tahapan pelaksanaan kolom meliputi :

- a. Tahap persiapan
- b. Tahap penulangan kolom
- c. Tahap bekisting kolom
- d. Tahap pengecoran kolom
- e. Tahap pembongkaran bekisting
- f. Tahap perawatan bekisting

Sebelum dilakukan pengecoran, dibutuhkan 2 benda uji silinder berukuran 150mm x 300mm (*SNI 03-2847-2013 pasal 5.3.1.2*) setiap 1 truk *mixer concrete* berkapasitas 6-7 m³ untuk diuji kuat tekan beton.

5.2 Saran

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini, didapatkan beberapa saran sebagai berikut:

1. Dalam pengumpulan data yang diperlukan untuk perencanaan perhitungan, dibutuhkan data yang lengkap mulai dari gambar struktur dan gambar arsitek serta data-data pendukung lain seperti data tanah dan hasil SPT dari proyek yang bersangkutan.
2. Penentuan preliminary desain struktur harus mempertimbangkan efisiensi dari dimensi yang digunakan serta perhitungan penulangan untuk elemen struktur harus mempertimbangkan kecukupan penampang untuk menahan tulangan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)*. Jakarta
2. Badan Strandarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)*. Jakarta.
3. Badan Strandarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)*. Jakarta.
4. C. McCormac, Jack. 2004. *Desain Beton Bertulang Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
5. C. McCormac, Jack. 2004. *Desain Beton Bertulang Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
6. Departemen Pekerjaan Umum. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI)*. Bandung: Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.
7. Imran, Iswandi, Fajar Hendrik. 2014. *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*. Bandung: ITB
8. Nasution, Amrinsyah. 2010. *Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang*. Bandung: ITB.
9. Wang, Chu-Kia, C. Salmon. *Disain Beton Bertulang Jilid 1*. Jakarta : Erlangga



Penulis dilahirkan di Surabaya, 25 Desember 1995, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis bernama lengkap Dea Adlina Tiara Wibowo ini telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK ABA 32 Surabaya, SD Muhammadiyah 4 Surabaya, SMPN 4 Surabaya dan SMAN 9 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN 9 Surabaya tahun 2014, Penulis mengikuti Tes Masuk DIII Reguler

ITS dan diterima Departemen Teknik Infrastruktur Sipil pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 3114030012. Di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ini Penulis mengambil Bidang Studi Bangunan Gedung. Penulis juga aktif di beberapa kegiatan kemahasiswaan selama 2 periode yaitu menjadi Sekretaris Departemen Sosial Masyarakat Himpunan Mahasiswa Diploma Sipil (HMDS) 2015/2016 dan Kepala Divisi Sosial Masyarakat Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Diploma Sipil (HMDS) ITS 2016/2017. Selain mengisi waktu dengan kegiatan akademik dan organisasi, Penulis mengisi waktu senggang dengan menonton film dan membaca buku.



Penulis dilahirkan di Surabaya, 16 Juni 1995, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis bernama lengkap Ilham Rizky Darmawan ini telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Islam Mutiara Surabaya, SDN Kalirungkut I/264 Surabaya, SMPN 17 Surabaya dan SMAN 16 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN 16 Surabaya tahun 2013, Penulis mengikuti Tes Masuk DIII Reguler ITS dan dan diterima Departemen Teknik Infrastruktur Sipil pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 3114030083. Di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ini Penulis mengambil Bidang Studi Bangunan Gedung. Penulis juga aktif di beberapa kegiatan kemahasiswaan selama 1 periode yaitu menjadi Staff Kementerian Kebijakan Kampus Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) ITS 2015/2016 dan Staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Diploma Sipil (HMDS) ITS 2015/2016. Selain mengisi waktu dengan kegiatan akademik dan organisasi, Penulis mengisi waktu senggang dengan membaca buku dan berolahraga.

Lampiran 1

Data perhitungan pembebanan gempa.

- Menghitung pusat kekakuan

TYPE	AS	DIMENSI		BJ	BENTANG	BERAT	JARAK		BERAT TOTAL	
		b (m)	h (m)	kg/m ³	m	ton	x (m)	y (m)	Wx	Wy
h0	A-1	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	0	0	0	0
	A-2	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	6	0	1,8	0
	A-3	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	15	0	4,5	0
	A-4	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	25	0	7,5	0
	A-5	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	34	0	10,2	0
	A-6	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	40	0	12	0
	B-1	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	0	8	0	2,4
	B-2	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	6	8	1,8	2,4
	B-3	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	15	8	4,5	2,4
	B-4	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	25	8	7,5	2,4
	B-5	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	34	8	10,2	2,4
	B-6	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	40	8	12	2,4
	C-1	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	0	16	0	4,8
	C-2	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	6	16	1,8	4,8
	C-3	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	15	16	4,5	4,8
	C-4	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	25	16	7,5	4,8
	C-5	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	34	16	10,2	4,8
	C-6	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	40	16	12	4,8
	D-1	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	0	24	0	7,2
	D-2	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	6	24	1,8	7,2
	D-3	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	15	24	4,5	7,2
	D-4	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	25	24	7,5	7,2
	D-5	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	34	24	10,2	7,2
	D-6	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	40	24	12	7,2
	E-1	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	0	32	0	9,6
	E-2	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	6	32	1,8	9,6
	E-3	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	15	32	4,5	9,6
	E-4	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	25	32	7,5	9,6
	E-5	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	34	32	10,2	9,6
	E-6	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	40	32	12	9,6
	F-1	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	0	40	0	12
	F-2	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	6	40	1,8	12
	F-3	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	15	40	4,5	12
	F-4	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	25	40	7,5	12
	F-5	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	34	40	10,2	12
	F-6	0,5	0,5	2400	0,5	0,3	40	40	12	12
	DE'-3'	0,3		2400	0,5	0,36	18,15	24	6,534	8,64
	DE'-34'	0,3		2400	0,5	0,36	15	28	5,4	10,08
	DE'-34'	0,3		2400	0,5	0,36	18,15	28	6,534	10,08
JUMLAH						10,8			234,468	244,8

X = 21,7

Y = 22,7

TIPE	AS	DIMENSI		BJ	BENTANG	BERAT	JARAK		BERAT TOTAL	
		b (m)	h (m)				x (m)	y (m)	Wx	Wy
h1	A-1	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	0	0	0	0
	A-2	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	6	0	7,56	0
	A-3	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	15	0	18,9	0
	A-4	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	25	0	31,5	0
	A-5	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	34	0	42,84	0
	A-6	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	40	0	50,4	0
	B-1	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	0	8	0	10,08
	B-2	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	6	8	7,56	10,08
	B-3	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	15	8	18,9	10,08
	B-4	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	25	8	31,5	10,08
	B-5	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	34	8	42,84	10,08
	B-6	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	40	8	50,4	10,08
	C-1	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	0	16	0	20,16
	C-2	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	6	16	7,56	20,16
	C-3	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	15	16	18,9	20,16
	C-4	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	25	16	31,5	20,16
	C-5	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	34	16	42,84	20,16
	C-6	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	40	16	50,4	20,16
	D-1	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	0	24	0	30,24
	D-2	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	6	24	7,56	30,24
	D-3	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	15	24	18,9	30,24
	D-4	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	25	24	31,5	30,24
	D-5	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	34	24	42,84	30,24
	D-6	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	40	24	50,4	30,24
	E-1	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	0	32	0	40,32
	E-2	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	6	32	7,56	40,32
	E-3	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	15	32	18,9	40,32
	E-4	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	25	32	31,5	40,32
	E-5	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	34	32	42,84	40,32
	E-6	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	40	32	50,4	40,32
	F-1	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	0	40	0	50,4
	F-2	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	6	40	7,56	50,4
	F-3	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	15	40	18,9	50,4
	F-4	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	25	40	31,5	50,4
	F-5	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	34	40	42,84	50,4
	F-6	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	40	40	50,4	50,4
	A'-1'	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	0	-5	0	-6,3
	A'-2'	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	6	-5	7,56	-6,3
	A'-23'	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	12	-5	15,12	-6,3
	A'-3'	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	28	-5	35,28	-6,3
	A'-4'	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	32	-5	40,32	-6,3
	A'-56'	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	40	-5	50,4	-6,3
	A-34'	0,15	0,15	2400	2,1	0,1134	0	18,85	0	2,13759
	AB'-12	0,15	0,15	2400	2,1	0,1134	6	18,85	0,6804	2,13759
	DE'-3'	0,2375		2400	2,1	1,197	18,15	24	21,7256	28,728
	DE'-34'	0,2375		2400	2,1	1,197	15	28	17,955	33,516
	DE'-34'	0,2375		2400	2,1	1,197	18,15	28	21,7256	33,516
JUMLAH						52,92			1117,97	969,435

X = 21,1

Y = 18,3

TIPE	AS	DIMENSI		BJ	BENTANG	BERAT	JARAK		BERAT TOTAL	
		b (m)	h (m)		m	ton	x (m)	y (m)	Wx	Wy
h2	A-1	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	0	0	0	0
	A-2	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	6	0	7,56	0
	A-3	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	15	0	18,9	0
	A-4	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	25	0	31,5	0
	A-5	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	34	0	42,84	0
	A-6	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	40	0	50,4	0
	B-1	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	0	8	0	10,08
	B-2	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	6	8	7,56	10,08
	B-3	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	15	8	18,9	10,08
	B-4	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	25	8	31,5	10,08
	B-5	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	34	8	42,84	10,08
	B-6	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	40	8	50,4	10,08
	C-1	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	0	16	0	20,16
	C-2	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	6	16	7,56	20,16
	C-3	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	15	16	18,9	20,16
	C-4	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	25	16	31,5	20,16
	C-5	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	34	16	42,84	20,16
	C-6	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	40	16	50,4	20,16
	D-1	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	0	24	0	30,24
	D-2	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	6	24	7,56	30,24
	D-3	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	15	24	18,9	30,24
	D-4	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	25	24	31,5	30,24
	D-5	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	34	24	42,84	30,24
	D-6	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	40	24	50,4	30,24
	E-1	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	0	32	0	40,32
	E-2	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	6	32	7,56	40,32
	E-3	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	15	32	18,9	40,32
	E-4	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	25	32	31,5	40,32
	E-5	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	34	32	42,84	40,32
	E-6	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	40	32	50,4	40,32
	F-1	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	0	40	0	50,4
	F-2	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	6	40	7,56	50,4
	F-3	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	15	40	18,9	50,4
	F-4	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	25	40	31,5	50,4
	F-5	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	34	40	42,84	50,4
	F-6	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	40	40	50,4	50,4
	A'-1'	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	0	-5	0	-6,3
	A'-2'	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	6	-5	7,56	-6,3
	A'-23'	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	12	-5	15,12	-6,3
	A'-3'	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	28	-5	35,28	-6,3
	A'-4'	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	32	-5	40,32	-6,3
	A'-56'	0,5	0,5	2400	2,1	1,26	40	-5	50,4	-6,3

A-1	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	0	0	0	0
A-2	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	6	0	6,93	0
A-3	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	15	0	17,325	0
A-4	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	25	0	28,875	0
A-5	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	34	0	39,27	0
A-6	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	40	0	46,2	0
B-1	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	0	8	0	9,24
B-2	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	6	8	6,93	9,24
B-3	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	15	8	17,325	9,24
B-4	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	25	8	28,875	9,24
B-5	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	34	8	39,27	9,24
B-6	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	40	8	46,2	9,24
C-1	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	0	16	0	18,48
C-2	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	6	16	6,93	18,48
C-3	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	15	16	17,325	18,48
C-4	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	25	16	28,875	18,48
C-5	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	34	16	39,27	18,48
C-6	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	40	16	46,2	18,48
D-1	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	0	24	0	27,72
D-2	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	6	24	6,93	27,72
D-3	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	15	24	17,325	27,72
D-4	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	25	24	28,875	27,72
D-5	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	34	24	39,27	27,72
D-6	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	40	24	46,2	27,72
E-1	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	0	32	0	36,96
E-2	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	6	32	6,93	36,96
E-3	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	15	32	17,325	36,96
E-4	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	25	32	28,875	36,96
E-5	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	34	32	39,27	36,96
E-6	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	40	32	46,2	36,96
F-1	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	0	40	0	46,2
F-2	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	6	40	6,93	46,2
F-3	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	15	40	17,325	46,2
F-4	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	25	40	28,875	46,2
F-5	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	34	40	39,27	46,2
F-6	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	40	40	46,2	46,2
A-34'	0,15	0,15	2400	2,1	0,1134	0	18,85	0	2,13759
AB'-12	0,15	0,15	2400	2,1	0,1134	6	18,85	0,6804	2,13759
DE'-3'	0,2375		2400	2,1	1,197	18,15	24	21,7256	28,728
DE'-34'	0,2375		2400	2,1	1,197	15	28	17,955	33,516
DE'-34'	0,2375		2400	2,1	1,197	18,15	28	21,7256	33,516
JUMLAH					98,3178			1949,57	1801,04

X = 19,8

Y = 18,3

TIPE	AS	DIMENSI		BJ	BENTANG	BERAT	JARAK		BERAT TOTAL	
		b (m)	h (m)				x (m)	y (m)	Wx	Wy
h3	A-1	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	0	0	0	0
	A-2	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	6	0	6,93	0
	A-3	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	15	0	17,325	0
	A-4	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	25	0	28,875	0
	A-5	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	34	0	39,27	0
	A-6	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	40	0	46,2	0
	B-1	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	0	8	0	9,24
	B-2	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	6	8	6,93	9,24
	B-3	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	15	8	17,325	9,24
	B-4	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	25	8	28,875	9,24
	B-5	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	34	8	39,27	9,24
	B-6	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	40	8	46,2	9,24
	C-1	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	0	16	0	18,48
	C-2	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	6	16	6,93	18,48
	C-3	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	15	16	17,325	18,48
	C-4	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	25	16	28,875	18,48
	C-5	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	34	16	39,27	18,48
	C-6	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	40	16	46,2	18,48
	D-1	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	0	24	0	27,72
	D-2	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	6	24	6,93	27,72
	D-3	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	15	24	17,325	27,72
	D-4	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	25	24	28,875	27,72
	D-5	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	34	24	39,27	27,72
	D-6	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	40	24	46,2	27,72
	E-1	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	0	32	0	36,96
	E-2	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	6	32	6,93	36,96
	E-3	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	15	32	17,325	36,96
	E-4	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	25	32	28,875	36,96
	E-5	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	34	32	39,27	36,96
	E-6	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	40	32	46,2	36,96
	F-1	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	0	40	0	46,2
	F-2	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	6	40	6,93	46,2
	F-3	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	15	40	17,325	46,2
	F-4	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	25	40	28,875	46,2
	F-5	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	34	40	39,27	46,2
	F-6	0,5	0,5	2400	1,925	1,155	40	40	46,2	46,2
	A-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	0	0	0
	A-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	0	6,84	0
	A-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	0	17,1	0
	A-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	0	28,5	0
	A-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	0	38,76	0
	A-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	0	45,6	0

B-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	8	0	9,12
B-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	8	6,84	9,12
B-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	8	17,1	9,12
B-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	8	28,5	9,12
B-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	8	38,76	9,12
B-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	8	45,6	9,12
C-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	16	0	18,24
C-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	16	6,84	18,24
C-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	16	17,1	18,24
C-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	16	28,5	18,24
C-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	16	38,76	18,24
C-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	16	45,6	18,24
D-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	24	0	27,36
D-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	24	6,84	27,36
D-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	24	17,1	27,36
D-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	24	28,5	27,36
D-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	24	38,76	27,36
D-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	24	45,6	27,36
E-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	32	0	36,48
E-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	32	6,84	36,48
E-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	32	17,1	36,48
E-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	32	28,5	36,48
E-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	32	38,76	36,48
E-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	32	45,6	36,48
F-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	40	0	45,6
F-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	40	6,84	45,6
F-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	40	17,1	45,6
F-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	40	28,5	45,6
F-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	40	38,76	45,6
F-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	40	45,6	45,6
A-34'	0,15	0,15	2400	2,1	0,1134	0	18,85	0	2,13759
AB'-12	0,15	0,15	2400	2,1	0,1134	6	18,85	0,6804	2,13759
DE'-3'	0,2375		2400	2,1	1,197	18,15	24	21,7256	28,728
DE'-34	0,2375		2400	2,1	1,197	15	28	17,955	33,516
DE'-34	0,2375		2400	2,1	1,197	18,15	28	21,7256	33,516
JUMLAH					86,4378			1714,49	1752,44

X = 19,8

Y = 20,3

TIPE	AS	DIMENSI		BJ	BENTANG	BERAT	JARAK		BERAT TOTAL	
		b (m)	h (m)				x (m)	y (m)	Wx	Wy
h4	A-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	0	0	0
	A-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	0	6,84	0
	A-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	0	17,1	0
	A-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	0	28,5	0
	A-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	0	38,76	0
	A-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	0	45,6	0
	B-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	8	0	9,12
	B-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	8	6,84	9,12
	B-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	8	17,1	9,12
	B-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	8	28,5	9,12
	B-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	8	38,76	9,12
	B-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	8	45,6	9,12
	C-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	16	0	18,24
	C-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	16	6,84	18,24
	C-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	16	17,1	18,24
	C-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	16	28,5	18,24
	C-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	16	38,76	18,24
	C-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	16	45,6	18,24
	D-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	24	0	27,36
	D-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	24	6,84	27,36
	D-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	24	17,1	27,36
	D-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	24	28,5	27,36
	D-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	24	38,76	27,36
	D-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	24	45,6	27,36
	E-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	32	0	36,48
	E-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	32	6,84	36,48
	E-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	32	17,1	36,48
	E-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	32	28,5	36,48
	E-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	32	38,76	36,48
	E-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	32	45,6	36,48
	F-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	40	0	45,6
	F-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	40	6,84	45,6
	F-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	40	17,1	45,6
	F-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	40	28,5	45,6
	F-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	40	38,76	45,6
	F-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	40	45,6	45,6
	A-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	0	0	0
	A-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	0	6,84	0
	A-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	0	17,1	0
	A-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	0	28,5	0
	A-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	0	38,76	0
	A-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	0	45,6	0

B-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	8	0	9,12
B-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	8	6,84	9,12
B-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	8	17,1	9,12
B-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	8	28,5	9,12
B-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	8	38,76	9,12
B-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	8	45,6	9,12
C-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	16	0	18,24
C-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	16	6,84	18,24
C-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	16	17,1	18,24
C-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	16	28,5	18,24
C-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	16	38,76	18,24
C-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	16	45,6	18,24
D-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	24	0	27,36
D-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	24	6,84	27,36
D-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	24	17,1	27,36
D-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	24	28,5	27,36
D-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	24	38,76	27,36
D-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	24	45,6	27,36
E-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	32	0	36,48
E-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	32	6,84	36,48
E-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	32	17,1	36,48
E-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	32	28,5	36,48
E-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	32	38,76	36,48
E-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	32	45,6	36,48
F-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	40	0	45,6
F-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	40	6,84	45,6
F-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	40	17,1	45,6
F-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	40	28,5	45,6
F-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	40	38,76	45,6
F-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	40	45,6	45,6
A-34'	0,15	0,15	2400	2,1	0,1134	0	18,85	0	2,13759
AB'-12	0,15	0,15	2400	2,1	0,1134	6	18,85	0,6804	2,13759
DE'-3'	0,2375		2400	2,1	1,197	18,15	24	21,7256	28,728
DE'-34	0,2375		2400	2,1	1,197	15	28	17,955	33,516
DE'-34	0,2375		2400	2,1	1,197	18,15	28	21,7256	33,516
JUMLAH					85,8978			1703,69	1741,64

X = 19,8

Y = 20,3

TIPE	AS	DIMENSI		BJ	BENTANG	BERAT	JARAK		BERAT TOTAL	
		b (m)	h (m)				x (m)	y (m)	Wx	Wy
h5	A-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	0	0	0
	A-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	0	6,84	0
	A-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	0	17,1	0
	A-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	0	28,5	0
	A-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	0	38,76	0
	A-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	0	45,6	0
	B-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	8	0	9,12
	B-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	8	6,84	9,12
	B-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	8	17,1	9,12
	B-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	8	28,5	9,12
	B-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	8	38,76	9,12
	B-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	8	45,6	9,12
	C-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	16	0	18,24
	C-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	16	6,84	18,24
	C-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	16	17,1	18,24
	C-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	16	28,5	18,24
	C-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	16	38,76	18,24
	C-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	16	45,6	18,24
	D-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	24	0	27,36
	D-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	24	6,84	27,36
	D-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	24	17,1	27,36
	D-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	24	28,5	27,36
	D-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	24	38,76	27,36
	D-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	24	45,6	27,36
	E-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	32	0	36,48
	E-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	32	6,84	36,48
	E-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	32	17,1	36,48
	E-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	32	28,5	36,48
	E-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	32	38,76	36,48
	E-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	32	45,6	36,48
	F-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	40	0	45,6
	F-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	40	6,84	45,6
	F-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	40	17,1	45,6
	F-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	40	28,5	45,6
	F-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	40	38,76	45,6
	F-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	40	45,6	45,6
	A-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	0	0	0
	A-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	0	6,84	0
	A-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	0	17,1	0
	A-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	0	28,5	0
	A-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	0	38,76	0
	A-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	0	45,6	0

B-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	8	0	9,12
B-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	8	6,84	9,12
B-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	8	17,1	9,12
B-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	8	28,5	9,12
B-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	8	38,76	9,12
B-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	8	45,6	9,12
C-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	16	0	18,24
C-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	16	6,84	18,24
C-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	16	17,1	18,24
C-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	16	28,5	18,24
C-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	16	38,76	18,24
C-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	16	45,6	18,24
D-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	24	0	27,36
D-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	24	6,84	27,36
D-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	24	17,1	27,36
D-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	24	28,5	27,36
D-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	24	38,76	27,36
D-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	24	45,6	27,36
E-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	32	0	36,48
E-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	32	6,84	36,48
E-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	32	17,1	36,48
E-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	32	28,5	36,48
E-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	32	38,76	36,48
E-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	32	45,6	36,48
F-1	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	0	40	0	45,6
F-2	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	6	40	6,84	45,6
F-3	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	15	40	17,1	45,6
F-4	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	25	40	28,5	45,6
F-5	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	34	40	38,76	45,6
F-6	0,5	0,5	2400	1,9	1,14	40	40	45,6	45,6
A-34'	0,15	0,15	2400	1,04	0,05616	0	18,85	0	1,05862
AB'-12	0,15	0,15	2400	1,04	0,05616	6	18,85	0,33696	1,05862
DE'-3'	0,2375		2400	1,04	0,5928	18,15	24	10,7593	14,2272
DE'-34	0,2375		2400	1,04	0,5928	15	28	8,892	16,5984
DE'-34	0,2375		2400	1,04	0,5928	18,15	28	10,7593	16,5984
JUMLAH					83,9707			1672,35	1691,14

X = 19,9

Y = 20,1

TIPE	AS	DIMENSI		BJ	BENTANG	BERAT	JARAK		BERAT TOTAL	
		b (m)	h (m)	kg/m ³	m	ton	x (m)	y (m)	Wx	Wy
h6	C-1'	0,15	0,15	2400	3,5	0,189	0	16	0	3,024
	CD-1'	0,15	0,15	2400	3,5	0,189	0	18,85	0	3,56265
	C-2'	0,15	0,15	2400	3,5	0,189	6	16	1,134	3,024
	CD-2'	0,15	0,15	2400	3,5	0,189	6	18,85	1,134	3,56265
	D-23	0,2375		2400	3,5	1,995	13,65	24	27,2318	47,88
	D-23	0,2375		2400	3,5	1,995	17,78	24	35,4711	47,88
	D-34	0,2375		2401	3,5	1,996	13,65	28	27,2431	55,8833
	D-34	0,2375		2400	3,5	1,995	17,78	28	35,4711	55,86
JUMLAH						8,73683			127,685	220,677

X = 14,6

Y = 25,3

- Menghitung berat struktur bangunan

1. Kolom pendek (W0)

Komponen	b	h	BJ	L	n	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(m)	(buah)	(kg)
Kolom Pendek	0,5	0,5	2400	0,25	36	5400
	0,3	0,3	2400	0,25	3	162
total =						5562

2. Lantai 1 (W1)

Komponen	b	h	BJ	L	n	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(m)	(buah)	(kg)
Kolom Pendek	0,5	0,5	2400	0,25	36	5400
	0,3	0,3	2400	0,25	3	162
Kolom	0,5	0,5	2400	2,1	36	45360
Kolom Dropoff	0,3	0,5	2400	2,1	9	6804
Sloof	0,45	0,7	2400	6	12	54432
	0,45	0,7	2400	9	12	81648
	0,45	0,7	2400	10	7	52920
	0,45	0,7	2400	8	30	181440
total =						428166

3. Lantai 1-2 (W2)

Komponen	b	h	BJ	L	n	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(m)	(buah)	(kg)
Kolom	0,5	0,5	2400	4,025	36	86940
Kolom Dropoff	0,3	0,5	2400	2,1	9	6804

Balok Induk	0,45	0,7	2400	6	12	54432
	0,45	0,7	2400	9	12	81648
	0,45	0,7	2400	10	4	30240
	0,45	0,7	2400	8	30	181440
	0,45	0,7	2400	2,775	1	2097,9
	0,45	0,7	2400	3,85	2	5821,2
	0,45	0,7	2400	1,85	10	13986
	0,45	0,7	2400	4	1	3024
Balok Anak	0,3	0,45	2400	6	18	34992
	0,3	0,45	2400	4,5	20	29160
	0,3	0,45	2400	4	37	47952
	0,3	0,45	2400	2,775	1	899,1
	0,3	0,45	2400	3,4	3	3304,8
	0,3	0,45	2400	3,825	3	3717,9
	0,3	0,45	2400	2,75	1	891
	0,3	0,45	2400	10	1	3240
	0,3	0,45	2400	3,85	1	1247,4
Balok Kantilever	0,3	0,45	2400	1,85	23	13786,2
	0,3	0,45	2400	5	9	14580
	0,15	0,2	2400	1,15	15	1242
	0,15	0,2	2400	5	4	1440
Pelat	0,15	0,2	2400	3,15	2	453,6
	0,15	0,2	2400	2,15	2	309,6
	4	0,12	2400	6	18	124416
	4	0,12	2400	4,5	40	207360
	2,775	0,12	2400	4	6	19180,8
	3,4	0,12	2400	4	6	23500,8
	3,825	0,12	2400	4	7	30844,8
	5,25	0,12	2400	6	1	9072
	2	0,12	2400	2,75	1	1584
	2,5	0,12	2400	6	8	34560
	1,85	0,12	2400	4	18	38361,6
	1,85	0,12	2400	2,5	8	10656
	1,15	0,12	2400	1,85	6	3676,32
	1,15	0,12	2400	6	4	7948,8
	1,85	0,12	2400	4	2	4262,4
	1,85	0,12	2400	3,15	2	3356,64
	3,15	0,12	2400	4	2	7257,6
	1,15	0,12	2400	4	2	2649,6

4. Lantai 2-3 (W3)

Komponen	b	h	BJ	L	n	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(m)	(buah)	(kg)
Kolom	0,5	0,5	2400	3,825	36	82620
Balok Induk	0,45	0,7	2400	6	12	54432
	0,45	0,7	2400	9	12	81648
	0,45	0,7	2400	10	4	30240
	0,45	0,7	2400	8	30	181440
	0,45	0,7	2400	2,775	1	2097,9
	0,45	0,7	2400	4	1	3024
Balok Anak	0,3	0,45	2400	6	18	34992
	0,3	0,45	2400	4,5	20	29160
	0,3	0,45	2400	4	35	45360
	0,3	0,45	2400	2,775	1	899,1
	0,3	0,45	2400	3,4	3	3304,8
	0,3	0,45	2400	3,825	3	3717,9
	0,3	0,45	2400	2,75	1	891
Balok Kantilever	0,3	0,45	2400	10	1	3240
	0,3	0,45	2400	4	2	2592
Pelat	4	0,12	2400	6	18	124416
	4	0,12	2400	4,5	40	207360
	2,775	0,12	2400	4	6	19180,8
	3,4	0,12	2400	4	6	23500,8
	3,825	0,12	2400	4	7	30844,8
	5,25	0,12	2400	6	1	9072
	2	0,12	2400	2,75	1	1584
total =						975617,1

5. Lantai 3-4 (W4)

Komponen	b	h	BJ	L	n	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(m)	(buah)	(kg)
Kolom	0,5	0,5	2400	3,8	36	82080
Balok Induk	0,45	0,7	2400	6	12	54432
	0,45	0,7	2400	9	12	81648
	0,45	0,7	2400	10	4	30240
	0,45	0,7	2400	8	30	181440
	0,45	0,7	2400	2,775	1	2097,9
	0,45	0,7	2400	4	1	3024

Balok Anak	0,3	0,45	2400	6	18	34992
	0,3	0,45	2400	4,5	20	29160
	0,3	0,45	2400	4	35	45360
	0,3	0,45	2400	2,775	1	899,1
	0,3	0,45	2400	3,4	3	3304,8
	0,3	0,45	2400	3,825	3	3717,9
	0,3	0,45	2400	2,75	1	891
	0,3	0,45	2400	10	1	3240
Balok Kantilever	0,3	0,45	2400	4	2	2592
Pelat	4	0,12	2400	6	18	124416
	4	0,12	2400	4,5	40	207360
	2,775	0,12	2400	4	6	19180,8
	3,4	0,12	2400	4	6	23500,8
	3,825	0,12	2400	4	7	30844,8
	5,25	0,12	2400	6	1	9072
	2	0,12	2400	2,75	1	1584
total =						975077,1

6. Lantai 4-Atap (W5)

Komponen	b (m)	h (m)	BJ (kg/m ³)	L (m)	n (buah)	W (kg)
Kolom	0,5	0,5	2400	1,9	39	44460
Balok Induk	0,45	0,7	2400	6	12	54432
	0,45	0,7	2400	9	12	81648
	0,45	0,7	2400	10	4	30240
	0,45	0,7	2400	8	30	181440
	0,45	0,7	2400	2,775	1	2097,9
	0,45	0,7	2400	4	1	3024
Balok Anak	0,3	0,45	2400	6	18	34992
	0,3	0,45	2400	4,5	20	29160
	0,3	0,45	2400	4	35	45360
	0,3	0,45	2400	3,4	3	3304,8
	0,3	0,45	2400	3,825	3	3717,9
	0,3	0,45	2400	2,75	1	891
Balok R.Lift dan Tangga	0,45	0,7	2400	4	3	9072
	0,45	0,7	2400	1,35	2	2041,2
	0,45	0,7	2400	2,775	2	4195,8

Pelat	4	0,1	2400	6	18	103680
	4	0,1	2400	4,5	40	172800
	2,775	0,1	2400	4	6	15984
	3,4	0,1	2400	4	6	19584
	3,825	0,1	2400	4	7	25704
	5,25	0,1	2400	6	1	7560
	2	0,1	2400	2,75	1	1320
	4,125	0,12	2400	4	1	4752
total =						881460,6

7. Lantai Atap-Ruang Lift (W6)

Komponen	b (m)	h (m)	BJ (kg/m ³)	L (m)	n (buah)	W (kg)
Balok R.Lift dan Tangga	0,45	0,7	2400	4	2	6048
	0,45	0,7	2400	4,125	2	6237
	0,45	0,7	2400	6	2	9072
	0,45	0,7	2400	2,75	2	4158
Pelat	4,125	0,1	2400	4	1	3960
	2,75	0,1	2400	6	1	3960
total =						33435

8. Tangga Utama

a. Lantai (W1)

Komponen	b (m)	h (m)	BJ (kg/m ³)	L (m)	n (buah)	W (kg)
Pelat tangga 1	1,7	0,2	2400	3,34	1	2725,44
Pelat bordes	1,4	0,15	2400	3,4	0,5	856,8
Balok Bordes	0,3	0,45	2400	3,4	0,5	550,8
Kolom Tangga & Lift	0,3	0,3	2400	2,1	5	2268
total =						6401,04

b. Lantai 1-2 (W2)

Komponen	b (m)	h (m)	BJ (kg/m ³)	L (m)	n (buah)	W (kg)
Pelat tangga 1	1,7	0,2	2400	3,34	1	2725,44
Pelat tangga 2	1,7	0,2	2400	3,24	1	2643,84
Pelat bordes	1,4	0,15	2400	3,4	0,5	856,8
Balok Bordes	0,3	0,45	2400	3,4	0,5	550,8
Kolom Tangga & Lift	0,3	0,3	2400	4,025	5	4347
total =						11123,88

c. Lantai 2-3 (W3)

Komponen	b	h	BJ	L	n	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(m)	(buah)	(kg)
Pelat tangga 2	1,7	0,2	2400	3,24	1	2643,84
Pelat tangga 3	1,7	0,2	2400	3,22	1	2627,52
Pelat bordes	1,4	0,15	2400	3,4	0,5	856,8
Balok Bordes	0,3	0,45	2400	3,4	0,5	550,8
Kolom Tangga & Lift	0,3	0,3	2400	3,825	5	4131
total =						10809,96

d. Lantai 3-4 (W4)

Komponen	b	h	BJ	L	n	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(m)	(buah)	(kg)
Pelat tangga 3	1,7	0,2	2400	3,22	1	2627,52
Pelat bordes	1,4	0,15	2400	3,4	0,5	856,8
Balok Bordes	0,3	0,45	2400	3,4	0,5	550,8
Kolom Tangga & Lift	0,3	0,3	2400	3,8	5	4104
total =						8139,12

9. Tangga Darurat

a. Lantai 1 (W1)

Komponen	b	h	BJ	L	n	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(m)	(buah)	(kg)
Pelat tangga 1	1,375	0,2	2400	5,42	1	3577,2
Pelat bordes	1	0,15	2400	2,75	0,5	495
Balok Bordes	0,3	0,45	2400	8	0,5	1296
total =						5368,2

b. Lantai 1-2 (W2)

Komponen	b	h	BJ	L	n	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(m)	(buah)	(kg)
Pelat tangga 1	1,375	0,2	2400	5,42	1	3577,2
Pelat tangga 2	1,375	0,2	2400	5,36	1	3537,6
Pelat bordes	1	0,15	2400	2,75	0,5	495
Balok Bordes	0,3	0,45	2400	8	0,5	1296
total =						8905,8

c. Lantai 2-3 (W3)

Komponen	b	h	BJ	L	n	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(m)	(buah)	(kg)
Pelat tangga 2	1,375	0,2	2400	5,36	1	3537,6
Pelat tangga 3	1,375	0,2	2400	5,35	1	3531
Pelat bordes	1	0,15	2400	2,75	0,5	495
Balok Bordes	0,3	0,45	2400	8	0,5	1296
total =						8859,6

d. Lantai 3-4 (W4)

Komponen	b	h	BJ	L	n	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(m)	(buah)	(kg)
Pelat tangga 3	1,375	0,2	2400	5,35	1	3531
Pelat tangga 4	1,375	0,2	2400	5,35	1	3531
Pelat bordes	1	0,15	2400	2,75	0,5	495
Balok Bordes	0,3	0,45	2400	8	0,5	1296
total =						8853

e. Lantai 4-Atap (W5)

Komponen	b	h	BJ	L	n	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(m)	(buah)	(kg)
Pelat tangga 4	1,375	0,2	2400	5,35	1	3531
Pelat Lantai atap	1,375	0,12	2400	6	1	2376
Pelat bordes	1	0,15	2400	2,75	0,5	495
Balok Bordes	0,3	0,45	2400	8	0,5	1296
total =						7698

f. Lantai Atap-R.Lift (W6)

Komponen	b	h	BJ	L	n	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(m)	(buah)	(kg)
Pelat lantai atap	2,75	0,2	2400	6	1	7920
total =						7920

- Beban mati tambahan dan beban hidup

1. Beban dinding

W -	Lantai	BJ	L	H	W	W _{/lantai}
		(kg/m ²)	(m)	(m)	(kg)	(kg)
1	1	150	396,97	2,1	125045,55	125045,55
2	1		396,97	2,1	125045,55	287858,68
	2		563,855	1,925	162813,13	
3	2		563,855	1,925	162813,13	271215,45
	3		380,359	1,9	108402,32	
4	3		380,359	1,9	108402,32	251399,64
	4		501,745	1,9	142997,33	
5	4		501,745	1,9	142997,33	151856,7
	R.lift		33,75	1,75	8859,375	
6	R.lift		33,75	1,75	8859,375	8859,375
total =						1087376

2. Beban Pelat Lantai dan Pelat Kantilever

a. Lantai 2

Komponen	Luas pelat (m ²)			Beban	W
	L (m)	P (m)	n	(kg/m ²)	kg
a. Beban Mati					
PELAT LANTAI					
Spesi	4	6	18	46	19872
	4	4,5	40		33120
	2,775	4	5		2553
	3,4	4	5		3128
	3,825	4	6		4222,8
	5,25	6	1		1449
	2	2,75	1		253
Keramik	4	6	18	16,5	7128
	4	4,5	40		11880
	2,775	4	5		915,75
	3,4	4	5		1122
	3,825	4	6		1514,7
	5,25	6	1		519,75
	2	2,75	1		90,75

Plafond+penggantung	4	6	18	16,4	7084,8
	4	4,5	40		11808
	2,775	4	6		1092,24
	3,4	4	6		1338,24
	3,825	4	7		1756,44
	5,25	6	1		516,6
	2	2,75	1		90,2
	Mekanikal Elektrikal	4	6		18
4		4,5	40	13680	
2,775		4	5	1054,5	
3,4		4	5	1292	
3,825		4	6	1744,2	
5,25		6	1	598,5	
2		2,75	1	104,5	
Plumbing		4	6	18	25
	4	4,5	40	18000	
	2,775	4	5	1387,5	
	3,4	4	5	1700	
	3,825	4	6	2295	
	5,25	6	1	787,5	
	2	2,75	1	137,5	
	PELAT KANTILEVER				
Mekanikal Elektrikal	2,775	4	1	19	210,9
	3,4	4	1		258,4
	3,825	4	1		290,7
	2,5	6	8		2280
	1,85	4	18		2530,8
	1,85	2,5	8		703
	1,15	1,85	6		242,535
	1,15	6	4		524,4
	1,85	4	2		281,2
	1,85	3,15	2		221,445
	3,15	4	2		478,8
	1,15	4	2		174,8

Waterproofing	2,775	4	1	7	77,7
	3,4	4	1		95,2
	3,825	4	1		107,1
	2,5	6	8		840
	1,85	4	18		932,4
	1,85	2,5	8		259
	1,15	1,85	6		89,355
	1,15	6	4		193,2
	1,85	4	2		103,6
	1,85	3,15	2		81,585
	3,15	4	2		176,4
	1,15	4	2		64,4
total = 184461,39					
b. Beban Hidup					
PELAT LANTAI					
Ruang pasien	4	6	14	192	64512
	4	4,5	10		34560
	4	4,5	14		48384
	5,25	6	1		6048
Ruang operasi, lab	4	4,5	6	287	30996
	4	6	4		27552
	2,775	4	2		6371,4
	3,4	4	2		7806,4
	3,825	4	2		8782,2
koridor	4	4,5	10	383	68940
	2,775	4	3		12753,9
	3,4	4	3		15626,4
	3,825	4	4		23439,6
	2	2,75	1		2106,5

PELAT KANTILEVER					
Atap datar	2,775	4	1	96	1065,6
	3,4	4	1		1305,6
	3,825	4	1		1468,8
	2,5	6	8		11520
	1,85	4	18		12787,2
	1,85	2,5	8		3552
	1,15	1,85	6		1225,44
	1,15	6	4		2649,6
	1,85	4	2		1420,8
	1,85	3,15	2		1118,88
	3,15	4	2		2419,2
	1,15	4	2		883,2
total =					279506,3

b. Lantai 3

Komponen	Luas pelat (m ²)			Beban	W
	L (m)	P (m)	n	(kg/m ²)	kg
a. Beban Mati					
PELAT LANTAI					
Spesi	4	6	18	46	19872
	4	4,5	40		33120
	2,775	4	5		2553
	3,4	4	5		3128
	3,825	4	6		4222,8
	5,25	6	1		1449
	2	2,75	1		253
Keramik	4	6	18	16,5	7128
	4	4,5	40		11880
	2,775	4	5		915,75
	3,4	4	5		1122
	3,825	4	6		1514,7
	5,25	6	1		519,75
	2	2,75	1		90,75

Plafond+penggantung	4	6	18	16,4	7084,8
	4	4,5	40		11808
	2,775	4	5		910,2
	3,4	4	5		1115,2
	3,825	4	6		1505,52
	5,25	6	1		516,6
	2	2,75	1		90,2
Mekanikal Elektrikal	4	6	18	19	8208
	4	4,5	40		13680
	2,775	4	5		1054,5
	3,4	4	5		1292
	3,825	4	6		1744,2
	5,25	6	1		598,5
	2	2,75	1		104,5
Plumbing	4	6	18	25	10800
	4	4,5	40		18000
	2,775	4	5		1387,5
	3,4	4	5		1700
	3,825	4	6		2295
	5,25	6	1		787,5
	2	2,75	1		137,5
PELAT KANTILEVER					
Mekanikal Elektrikal	2,775	4	1	19	210,9
	3,4	4	1		258,4
	3,825	4	1		290,7
Waterproofing	2,775	4	1	7	77,7
	3,4	4	1		95,2
	3,825	4	1		107,1
total = 173628,47					
b. Beban Hidup					
PELAT LANTAI					
Ruang pasien	4	6	8	192	36864
	4	4,5	8		27648
	5,25	6	1		6048
koridor	4	4,5	32	383	220608
	2,775	4	5		21256,5
	3,4	4	5		26044
	3,825	4	6		35159,4
	4	6	10		91920
	2	2,75	1		2106,5

PELAT KANTILEVER					
Atap datar	2,775	4	1	96	1065,6
	3,4	4	1		1305,6
	3,825	4	1		1468,8
total =					330046,08

c. Lantai 4

Komponen	Luas pelat (m ²)			Beban	W
	L (m)	P (m)	n	(kg/m ²)	kg
a. Beban Mati					
PELAT LANTAI					
Spesi	4	6	18	46	19872
	4	4,5	40		33120
	2,775	4	5		2553
	3,4	4	5		3128
	3,825	4	6		4222,8
	5,25	6	1		1449
	2	2,75	1		253
Keramik	4	6	18	16,5	7128
	4	4,5	40		11880
	2,775	4	5		915,75
	3,4	4	5		1122
	3,825	4	6		1514,7
	5,25	6	1		519,75
	2	2,75	1		90,75
Plafond+penggantung	4	6	18	16,4	7084,8
	4	4,5	40		11808
	2,775	4	5		910,2
	3,4	4	5		1115,2
	3,825	4	6		1505,52
	5,25	6	1		516,6
	2	2,75	1		90,2

	4	6	18		8208
	4	4,5	40		13680
Mekanikal Elektrikal	2,775	4	5	19	1054,5
	3,4	4	5		1292
	3,825	4	6		1744,2
	5,25	6	1		598,5
	2	2,75	1		104,5
	4	6	18		10800
Plumbing	4	4,5	40	25	18000
	2,775	4	5		1387,5
	3,4	4	5		1700
	3,825	4	6		2295
	5,25	6	1		787,5
	2	2,75	1		137,5
	PELAT KANTILEVER				
Mekanikal Elektrikal	2,775	4	1	19	210,9
	3,4	4	1		258,4
	3,825	4	1		290,7
Waterproofing	2,775	4	1	7	77,7
	3,4	4	1		95,2
	3,825	4	1		107,1
total = 173628,47					
b. Beban Hidup					
PELAT LANTAI					
Ruang pasien	4	6	18	192	82944
	4	4,5	16		55296
	5,25	6	1		6048
koridor	4	4,5	24	383	165456
	2,775	4	5		21256,5
	3,4	4	5		26044
	3,825	4	6		35159,4
	2	2,75	1		2106,5
PELAT KANTILEVER					
Atap datar	2,775	4	1	96	1065,6
	3,4	4	1		1305,6
	3,825	4	1		1468,8
total = 278705,28					

d. Lantai Atap

Komponen	Luas pelat (m ²)			Beban	W
	L (m)	P (m)	n	(kg/m ²)	kg
a. Beban Mati					
PELAT LANTAI					
Spesi	4	6	18	46	19872
	4	4,5	40		33120
	2,775	4	5		2553
	3,4	4	5		3128
	3,825	4	6		4222,8
	5,25	6	1		1449
	2	2,75	1		253
Plafond+penggantung	4	6	18	16,4	7084,8
	4	4,5	40		11808
	2,775	4	5		910,2
	3,4	4	5		1115,2
	3,825	4	6		1505,52
	5,25	6	1		516,6
	2	2,75	1		90,2
Mekanikal Elektrikal	4	6	18	19	8208
	4	4,5	40		13680
	2,775	4	5		1054,5
	3,4	4	5		1292
	3,825	4	6		1744,2
	5,25	6	1		598,5
	2	2,75	1		104,5
Waterproofing	4	6	18	7	3024
	4	4,5	40		5040
	2,775	4	5		388,5
	3,4	4	5		476
	3,825	4	6		642,6
	5,25	6	1		220,5
	2	2,75	1		38,5
total =					124140,12

b. Beban Hidup					
PELAT LANTAI					
Atap datar	4	6	18	96	41472
	4	4,5	40		69120
	2,775	4	5		5328
	3,4	4	6		7833,6
	3,825	4	6		8812,8
	5,25	6	1		3024
	2	2,75	1		528
mesin lift	4	4,125	1	400	6600
total =					99902,88

e. Lantai Ruang Lift

Komponen	Luas pelat (m ²)			Beban	W
	L (m)	P (m)	n	(kg/m ²)	kg
a. Beban Mati					
PELAT LANTAI					
Spesi	4	4,125	1	46	759
	2,75	6	1		759
Plafond+penggantung	4	4,125	1	16,4	270,6
	2,75	6	1		270,6
Mekanikal Elektrikal	4	4,125	1	19	313,5
	2,75	6	1		313,5
Waterproofing	4	4,125	1	7	115,5
	2,75	6	1		115,5
total =					2917,2
b. Beban Hidup					
PELAT LANTAI					
Atap datar	4	4,125	1	96	1584
	2,75	6	1		1584
total =					2217,6

3. Beban Pelat Tangga dan Pelat Bordes

a. Tangga utama 1

Komponen	Luas pelat (m ²)			Beban	W
	L (m)	P (m)	n	(kg/m ²)	kg
a. Beban Mati					
PELAT TANGGA					
Railing	1,7	3,34	2	30	340,68
Spesi	1,7	3,34	2	46	522,376
Keramik	1,7	3,34	2	16,5	187,374
PELAT BORDES					
Railing	1,4	3,4	1	30	142,8
Spesi	1,4	3,4	1	46	218,96
Keramik	1,4	3,4	1	16,5	78,54
total =					1490,73
b. Beban Hidup					
PELAT TANGGA					
Tangga dan jalan keluar	1,7	3,34	2	479	5439,524
PELAT BORDES					
Tangga dan jalan keluar	1,4	3,4	1	479	2280,04
total =					5403,6948

b. Tangga utama 2

Komponen	Luas pelat (m ²)			Beban	W
	L (m)	P (m)	n	(kg/m ²)	kg
a. Beban Mati					
PELAT TANGGA					
Railing	1,7	3,24	2	30	330,48
Spesi	1,7	3,24	2	46	506,736
Keramik	1,7	3,24	2	16,5	181,764
PELAT BORDES					
Railing	1,4	3,4	1	30	142,8
Spesi	1,4	3,4	1	46	218,96
Keramik	1,4	3,4	1	16,5	78,54
total =					1459,28

b. Beban Hidup					
PELAT TANGGA					
Tangga dan jalan keluar	1,7	3,24	2	479	5276,664
PELAT BORDES					
Tangga dan jalan keluar	1,4	3,4	1	479	2280,04
total =					5289,6928

c. Tangga utama 3

Komponen	Luas pelat (m ²)			Beban	W
	L (m)	P (m)	n	(kg/m ²)	kg
a. Beban Mati					
PELAT TANGGA					
Railing	1,7	3,22	2	30	328,44
Spesi	1,7	3,22	2	46	503,608
Keramik	1,7	3,22	2	16,5	180,642
PELAT BORDES					
Railing	1,4	3,4	1	30	142,8
Spesi	1,4	3,4	1	46	218,96
Keramik	1,4	3,4	1	16,5	78,54
total =					1452,99
b. Beban Hidup					
PELAT TANGGA					
Tangga dan jalan keluar	1,7	3,22	2	479	5244,092
PELAT BORDES					
Tangga dan jalan keluar	1,4	3,4	1	479	2280,04
total =					5266,8924

d. Tangga Darurat

Komponen	Luas pelat (m ²)			Beban	W
	L (m)	P (m)	n	(kg/m ²)	kg
a. Beban Mati					
PELAT TANGGA					
Railing	1,375	5,42	2	30	447,15
Spesi	1,375	5,42	2	46	685,63
Keramik	1,375	5,42	2	16,5	245,9325

PELAT BORDES					
Railing	1	2,75	1	30	82,5
Spesi	1	2,75	1	46	126,5
Keramik	1	2,75	1	16,5	45,375
total =					1633,0875
b. Beban Hidup					
PELAT TANGGA					
Tangga dan jalan keluar	1,375	5,42	2	479	7139,495
PELAT BORDES					
Tangga dan jalan keluar	1	2,75	1	479	1317,25
total =					5919,7215

e. Tangga Darurat 2

Komponen	Luas pelat (m ²)			Beban	W
	L (m)	P (m)	n	(kg/m ²)	kg
a. Beban Mati					
PELAT TANGGA					
Railing	1,375	5,36	2	30	442,2
Spesi	1,375	5,36	2	46	678,04
Keramik	1,375	5,36	2	16,5	243,21
PELAT BORDES					
Railing	1	2,75	1	30	82,5
Spesi	1	2,75	1	46	126,5
Keramik	1	2,75	1	16,5	45,375
total =					1617,825
b. Beban Hidup					
PELAT TANGGA					
Tangga dan jalan keluar	1,375	5,36	2	479	7060,46
PELAT BORDES					
Tangga dan jalan keluar	1	2,75	1	479	1317,25
total =					5864,397

f. Tangga Darurat 3

Komponen	Luas pelat (m ²)			Beban	W
	L (m)	P (m)	n	(kg/m ²)	kg
a. Beban Mati					
PELAT TANGGA					
Railing	1,375	5,35	2	30	441,375
Spesi	1,375	5,35	2	46	676,775
Keramik	1,375	5,35	2	16,5	242,75625
PELAT BORDES					
Railing	1	2,75	1	30	82,5
Spesi	1	2,75	1	46	126,5
Keramik	1	2,75	1	16,5	45,375
total =					1615,2813
b. Beban Hidup					
PELAT TANGGA					
Tangga dan jalan keluar	1,375	5,35	2	479	7047,2875
PELAT BORDES					
Tangga dan jalan keluar	1	2,75	1	479	1317,25
total =					5855,1763

g. Tangga Darurat 4

Komponen	Luas pelat (m ²)			Beban	W
	L (m)	P (m)	n	(kg/m ²)	kg
a. Beban Mati					
PELAT TANGGA					
Railing	1,375	5,35	2	30	441,375
Spesi	1,375	5,35	2	46	676,775
Keramik	1,375	5,35	2	16,5	242,75625
PELAT BORDES					
Railing	1	2,75	1	30	82,5
Spesi	1	2,75	1	46	126,5
Keramik	1	2,75	1	16,5	45,375
total =					1615,2813

b. Beban Hidup					
PELAT TANGGA					
Tangga dan jalan keluar	1,375	5,35	2	479	7047,2875
PELAT BORDES					
Tangga dan jalan keluar	1	2,75	1	479	1317,25
total =					5855,1763

“halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran 2
Brosur Pembebanan.



DINDING

◆ Plester D200

- Dipergunakan untuk pekerjaan plester dan pasangan bata.
- Ketebalan aplikasi 8-10 mm
- Memiliki daya rekat dan workability yang baik.
- Daya sebatlak ± 2-2,5 m²/10mm



40kg

◆ Acian S100

- Warna abu-abu muda
- Cocok untuk espas interior
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebatlak ± 10-12 m²/2mm



30kg

◆ Acian NP S450

- Warna cream
- Cat lebih hemat
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebatlak ± 10-12 m²/2mm
- 5-7 hari bisa langsung di cat



30kg

◆ SKIMCOAT S200

- Daya rekat tinggi untuk beton dengan permukaan licin
- Mengurangi retak
- Daya sebatlak 9-12 m²/30 kg



30kg

◆ SKIMKOT PUTIH S500

- Acian putih untuk ekspas dak beton (bagian dalam)
- Mengurangi retak
- Tanpa planir dan cat dasar
- Menghemat cat
- Daya sebatlak 9-11 m²/20 kg



20kg

◆ Thinbed 101 TB101

- Perakot bata ringan dengan ketebalan spesi antara 2 - 3 mm
- Memiliki daya rekat yang baik
- Daya sebatlak ± 10-11 m²/3mm (40 kg) (ukuran blok 20x60x10 cm)
- Cepat dalam pengerjaannya



40kg

◆ Plester Ringan 1.6 S150

- Plester aci bata ringan dalam 1 aplikasi
- Plester aci bata ringan (one coat system) dengan ketebalan spesi antara 5 - 8 mm
- Plester lebih ringan
- Daya sebatlak ± 4,5-6,5 m²/5-8mm (50 kg) (ukuran blok 20x60x10 cm)
- Lebih cepat dan hemat dalam pekerjaan



50kg

Khusus Bata Ringan

Produk lainnya

◆ Concrete Fill R200

Memperbaiki retak & celah beton

- Bahan perkat bonding dinding plester antara permukaan beton.
- Sebagai bahan pengisi keropos pada beton, celah pada panel, dll.
- Tebal aplikasi 3-15 mm



25kg
40kg

◆ Beton

Beton instan siap pakai

- Tersedia K 175, K 225, K300



50kg

◆ Bonding Agent L007

Bonding untuk beton dan mortar



1L

www.drymix.co.id



Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon

Panjang, L (mm)	: 600
Tinggi, H (mm)	: 200 ; 400
Tebal, T (mm)	: 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200

Berat jenis kering, (ρ)	: 530 kg/m ³
Berat jenis normal, (ρ)	: 600 kg/m ³
Kuat tekan, (σ)	: $\geq 4,0$ N/mm ²
Konduktivitas termis, (λ)	: 0,14 w/mk

Tebal	mm	75	100	125	150	175	200
Luas Dinding / m ²	m ²	13,33	10,00	8,00	6,67	5,71	5,00
Isi / m ³	Blok	111,11	83,33	66,67	55,56	47,62	41,67

Citicon Light Concrete Technical Specifications

Length, L (mm)	: 600
Height, H (mm)	: 200 ; 400
Thick, T (mm)	: 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200

Dry Density, (ρ)	: 530 kg/m ³
Field Density, (ρ)	: 600 kg/m ³
Compressive Strength, (σ)	: $\geq 4,0$ N/mm ²
Thermal Conductivity, (λ)	: 0,14 w/mk

Thick	mm	75	100	125	150	175	200
Wall Area / m ²	m ²	13,33	10,00	8,00	6,67	5,71	5,00
Contents / m ³	Block	111,11	83,33	66,67	55,56	47,62	41,67



30 x 30



TECHNICAL DATA ARAWANA Ceramic Tiles

DESCRIPTION	UNIT	FLOOR TILE ARAWANA	ISO	UNIT	WALL TILE ARAWANA	ISO
Size Tolerance	%	+/- 0.5	+/- 0.8	%	+/- 0.2 - (+/- 0.32)	+/- 0.3 - (+/- 0.8)
Thickness Tolerance	%	+/- 4.0	+/- 5.0	%	+/- 4.0	+/- 10
Rectangularity	%	+/- 0.4	+/- 0.6	%	+/- 0.3	+/- 0.3
Straightness of sides	%	+/- 0.4	+/- 0.5	%	+/- 0.3	+/- 0.3
Curvature						
a. Center Curvature	%	+/- 0.5	+/- 0.5	mm	+/- 0.2 - (+/- 0.8)	+/- 0.2 - (+/- 0.8)
b. Edge Curvature	%	+/- 0.5	+/- 0.5	mm	+/- 0.2 - (+/- 0.8)	+/- 0.2 - (+/- 0.8)
c. Warpage	%	+/- 0.5	+/- 0.5	mm	0.5	0.5
Modulus of Rupture	kg/cm ²	min 200	180	kg/cm ²	min 200	min 150
Water Absorption	%	8 - 9	6-E+10	%	>10	>10
Cracking Resistance		Required (3 bar)	Required (3 bar)		Required (3 bar)	Required (3 bar)

Arwana Ceramic tiles packing information

SIZE (cm)	QTY./BOX	M ² /BOX	WT. KG/BOX
20cm x 20cm	25	1	13 - 14
20cm x 25cm	20	1	12
20cm x 30cm	11	1	14 - 15
40cm x 40cm	6	1	15.5 - 16.5



Contact us :

Head Office:
PT. ARAWANA CITRAMULIA TM
Sentra Niaga Puri Indah Blok T2 No. 24
Kembangan Selatan, Jakarta 11610
Jakarta 11610
Phn: +62 21 5830 2363
Fax: +62 21 5830 2363
E-mail: info@arawanacitra.com
Website: www.arawanacitra.com

Sole Distributor:
PT. PRAMADIA KKRAMENDI
Sentra Niaga Puri Indah Blok T3 No. 16-17
Kembangan Selatan, Jakarta 11610
Phn: +62 21 5835 8118
Fax: +62 21 5835 8008
E-mail: info@pgk.arawanacitra.com

Factories
PLANT I:
PT. ARAWANA CITRAMULIA (KCM)
Jl. Raya Pasar Kemis
Tangerang 15133, Banten
Phn: +62 21 5903555 Fax: +62 21 5903461
Email: info@pam.arawanacitra.com

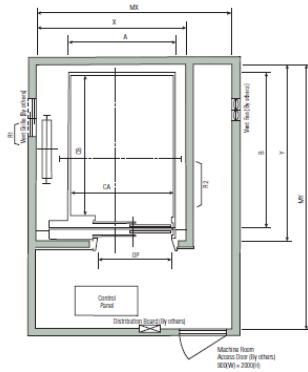
PLANT II:
PT. ARAWANA NUANGA KERAMIK (ANK)
Jl. Raya Gorda, Desa Kiliun Km 09
Cilacap - Serang, Banten
Phn: +62 254 400365-67 Fax: +62 254 400364
Email: info@pam.arawanacitra.com

PLANT III:
PT. SINAR KARYA DUTA ARANI (SKDA)
Jl. Wringin Asam Raya Km. 13
Desa Wringin Asam, Kls. Gresik
Jawa Timur
Phn: +62 31 892225-26 Fax: +62 31 8981679
Email: info@skda.arawanacitra.com

Installation Layout Plan

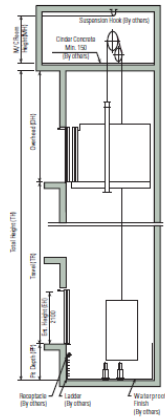
General Traction Type

Plan of Hoistway & Machine Room



Note: Machine room temperature should be maintained below 40°C with ventilating fan and/or air conditioner (if necessary) and humidity below 90%.

Section of Hoistway



Standard Dimensions & Reactions

Type	Model	Clear Opening OP	Car		Hoistway X x Y	M/C Room MX x MY	M/C Room Reaction(kg)	
			CA x CB	A x B			R1	R2
Standard Type	B-1250-2530-4T	1100	1300 x 2300	1400 x 2807	2100 x 2850	2300 x 3500	10500	8500
	B-1350-2545	1200	1500 x 2300	1600 x 2807	2300 x 2850	2700 x 4000	11500	9500
	B-1600-2530-4T	1200	1500 x 2300	1700 x 2807	2400 x 2850	2850 x 4000	10500	8500
	B-1600-2545	1200	1500 x 2300	1700 x 2807	2400 x 2850	2850 x 4000	10500	8500
	B-1750-2530-4T	1200	1500 x 2300	1700 x 2807	2400 x 2850	2850 x 4000	10500	8500
Double Entrance Type	B-1250-2530-4S	1100	1300 x 2300	1400 x 3634	2300 x 3000	2300 x 3500	10500	8500
	B-1350-2545	1200	1500 x 2300	1600 x 3634	2300 x 3000	2700 x 4000	11500	9500
	B-1600-2530-4S	1200	1500 x 2300	1600 x 3634	2300 x 3000	2700 x 4000	11500	9500
	B-1600-2545	1200	1500 x 2300	1600 x 3634	2300 x 3000	2700 x 4000	11500	9500

Note: 1. When non standard objective and dimensions are required, consult Hyundai.
2. Above dimension are applied to case the door is standard. In case the protection door is applied, doorway size for 1 car should be applied above X dimension plus 100mm.
3. Consult Hyundai in case the cable applied.

Speed (m/min)	Overhead (OH)	Pit (PT)	M/C Room Height (MH)
30-45	4000	1200	2400
60	4000	1500	
70	4800	1800	
100	5000	2100	

Note: 1. Above is minimum size.
2. In case of special hoistway, machine room height may be higher than above size.
3. The minimum machine room height should be 2600mm in case of the traction machine with double insulation gate.